

ИНСТИТУТ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

7

Л. В. Кутуков, Г. А. Гладышевская

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ  
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЕ ЗАПОМИНАЮЩЕЕ  
УСТРОЙСТВО НА КОНДЕНСАТОРАХ И  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДАХ

МОСКВА - 1957

ИНСТИТУТ ТОЧНОЙ МЕХАНИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ  
АКАДЕМИИ НАУК СССР

Л. В. Кутуков, Г. А. Гладышевская

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЕ ЗАПОМИНАЮЩЕЕ  
УСТРОЙСТВО НА КОНДЕНСАТОРАХ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
ДИОДАХ

Москва - 1957

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЕ ЗАПОМИНАЮЩЕЕ  
УСТРОЙСТВО НА КОНДЕНСАТОРАХ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
ДИОДАХ

Рассматриваются основные принципы построения ЗУ на конденсаторах и полупроводниковых диодах и факторы, определяющие максимальную емкость и скорость его работы. Обсуждается возможность выполнения ЗУ на полупроводниковых триодах. Приводятся схемы и результаты испытаний двух опытных макетов.

A PARALLEL DIODE - CAPACITOR MEMORY

Some basic principles of designing a diode-capacitor memory as well as some factors determining its operational speed and capacity are discussed. The possibility of constructing a transistorized storage unit is considered.

The two experimental models circuits and test results are given.

## 1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЗУ НА ДИОДАХ И КОНДЕНСАТОРАХ

Информация в запоминающем устройстве (ЗУ) на диодах и конденсаторах хранится в виде электрического заряда конденсатора. Основная ячейка ЗУ состоит из одного конденсатора и двух диодов (рис. 1, часть схемы, обведенная пунктирной линией).

*Запись.* Запись информации в ячейку производится следующим образом (рис.1). К диодам  $D_1$  и  $D_2$  через обмотки дифференциального трансформатора Тр подается напряжение смещения так, что диоды находятся в запертом состоянии. Благодаря симметрии схемы потенциал точки  $c$  равен нулю. В момент  $t_1$  (рис.2) в точки  $a$  и  $b$  через трансформатор Тр подаются соответственно положительный и отрицательный импульсы, переводящие диоды в состояние проводимости; благодаря симметрии схемы потенциал точки  $c$  по-прежнему равен нулю.

В момент  $t_2$  в точку  $d$  подается положительный импульс, при этом нижняя обкладка конденсатора приобретает потенциал, равный амплитуде импульса  $U_d$ , а точка  $c$  все еще остается под нулевым потенциалом (предполагая, что диоды  $D_1$  и  $D_2$  имеют сопротивление прямой проводимости, равное нулю, а трансформатор Тр - идеальный).

В момент времени  $t_3$  подача импульсов  $U_a$  и  $U_b$  прекращается, диоды  $D_1$  и  $D_2$  переходят в непроводящее состояние; точка  $c$  все еще находится под нулевым потенциалом, но теперь она изолирована от земли. В момент времени  $t_4$  подача импульса  $U_d$  прекращается, вследствие чего потенциал

нижней обкладки конденсатора становится равным нулю. Ввиду того, что верхняя обкладка конденсатора в этот момент изолирована от остальной части

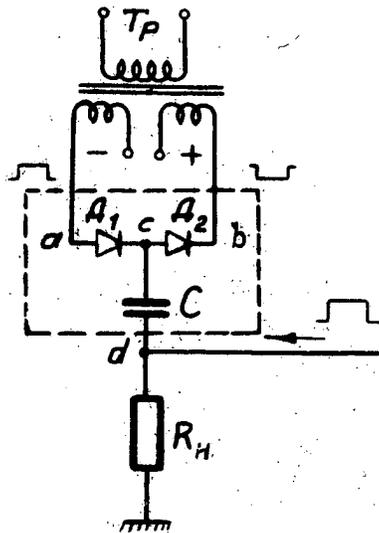


Рис. 1. Схема ячейки ЗУ на конденсаторах и диодах

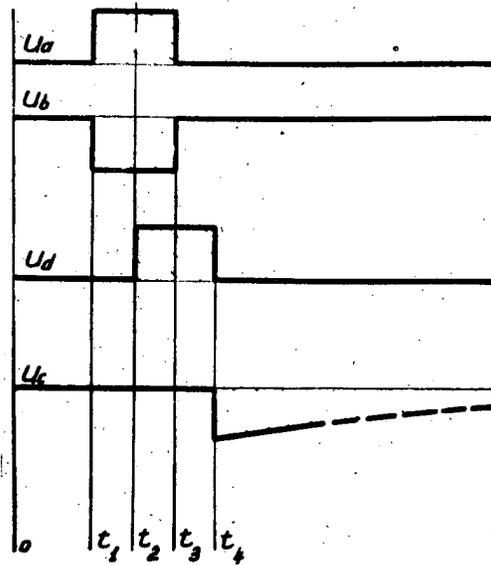


Рис. 2. Временная диаграмма операции записи схемы рис. 1.

схемы, заряд конденсатора не меняется, и на обкладке устанавливается отрицательный потенциал, равный амплитуде импульса  $U_d$ . В дальнейшем происходит разряд конденсатора по экспоненциальному закону; постоянная времени цепи разряда  $\tau = C \frac{R_{обр}}{2}$ , где  $C$  - емкость конденсатора ячейки, а  $R_{обр}$  - обратное сопротивление диодов  $D_1$  и  $D_2$ .

**Регенерация.** Вследствие того, что обратное сопротивление диодов  $D_1$  и  $D_2$  имеет конечное значение, то для того, чтобы информация могла храниться в течение неограниченного времени, необходима периодическая регенерация заряда конденсатора  $C$ . Процесс регенерации происходит следующим образом (рис. 3). Предположим, что в конденсаторе хранится отрицательный заряд и диоды  $D_1$  и  $D_2$  заперты. Если в некоторый момент  $t_1$  (рис. 4) будут поданы импульсы  $U_a$  и  $U_b$ , отпирающие диоды  $D_1$  и  $D_2$ , конденсатор  $C$  ячейки начнет разряжаться по цепи: верхняя обкладка конденсатора, диоды  $D_1$  и  $D_2$ , обмотки трансформатора  $Tr$ , источники питания, земля, сопротивление  $R_n$ , нижняя обкладка конденсатора. В точке  $d$  вследствие протекания разрядного тока возникает импульс, амплитуда которого равна потенциалу верхней обкладки конденсатора в момент перед появлением им-

пульсов  $U_a$  и  $U_b$ . Через время  $\Delta t$ , равное времени задержки электромагнитной линии задержки (ЛЗ), этот импульс поступает на вход усилителя,

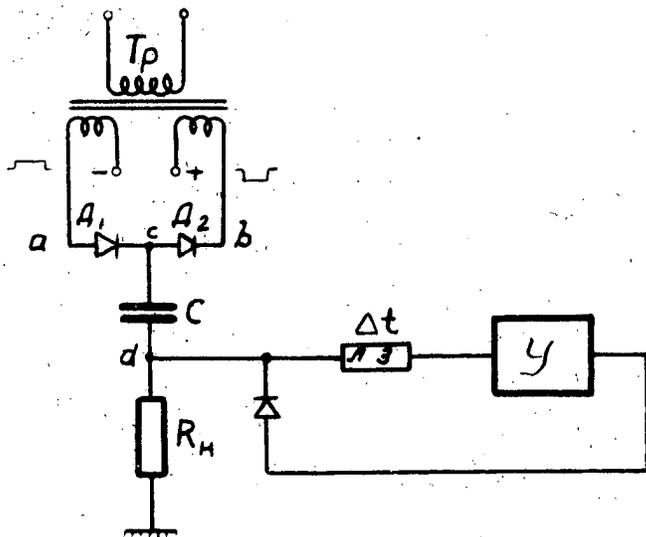


Рис.3. Схема регенерации

а так как с выхода усилителя в точку  $d$  подается импульс того же знака, но большей амплитуды, то в момент времени  $t_2$  потенциал точки  $d$  возрастает. После прекращения в момент  $t_3$  импульсов  $U_a$  и  $U_b$  точка  $c$  оказывается изолированной от земли, а

в момент  $t_4$ , после прекращения импульса  $U_d$ , вновь приобретает отрицательный потенциал, но уже больший того потенциала, который она имела до момента времени  $t_1$ . Далее вновь начинается разряд конденсатора до момента  $t_5$ , когда должна быть проведена следующая регенерация.

**Считывание.** Считывание производится путем параллельного отбора импульса во время регенерации. Импульс может быть снят с любого

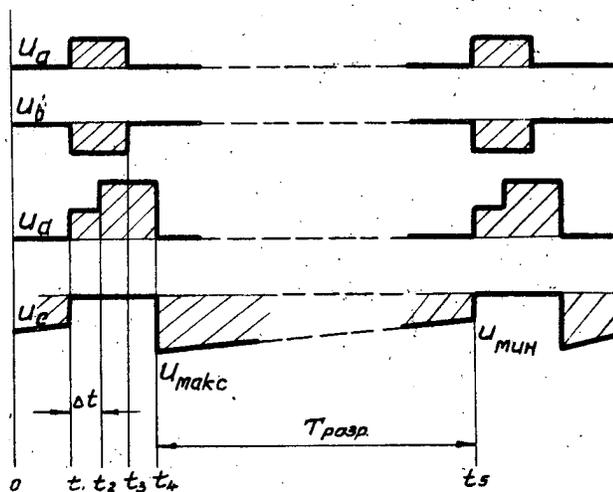


Рис.4. Временная диаграмма схемы рис.3

участка цепи регенерации. При этом возможно использование двух систем записи. При первой хранению двоичного знака "1" соответствует наличие в конденсаторе заряда того или иного знака, а "0" - отсутствие заряда; при второй "1" и "0" соответствуют заряды противоположных знаков.

Как будет показано ниже, применение первой системы упрощает схему ЗУ, в то время как применение второй предъявляет меньшие требования к симметрии обратных сопротивлений диодов ячеек.

2. ПРОЦЕССЫ РЕГЕНЕРАЦИИ, ЗАПИСИ И СЧИТЫВАНИЯ В ЗУ  
БОЛЬШОЙ ЕМКОСТИ

Схема коммутации ячеек ЗУ емкостью в  $n$   $m$  - разрядных чисел приведена

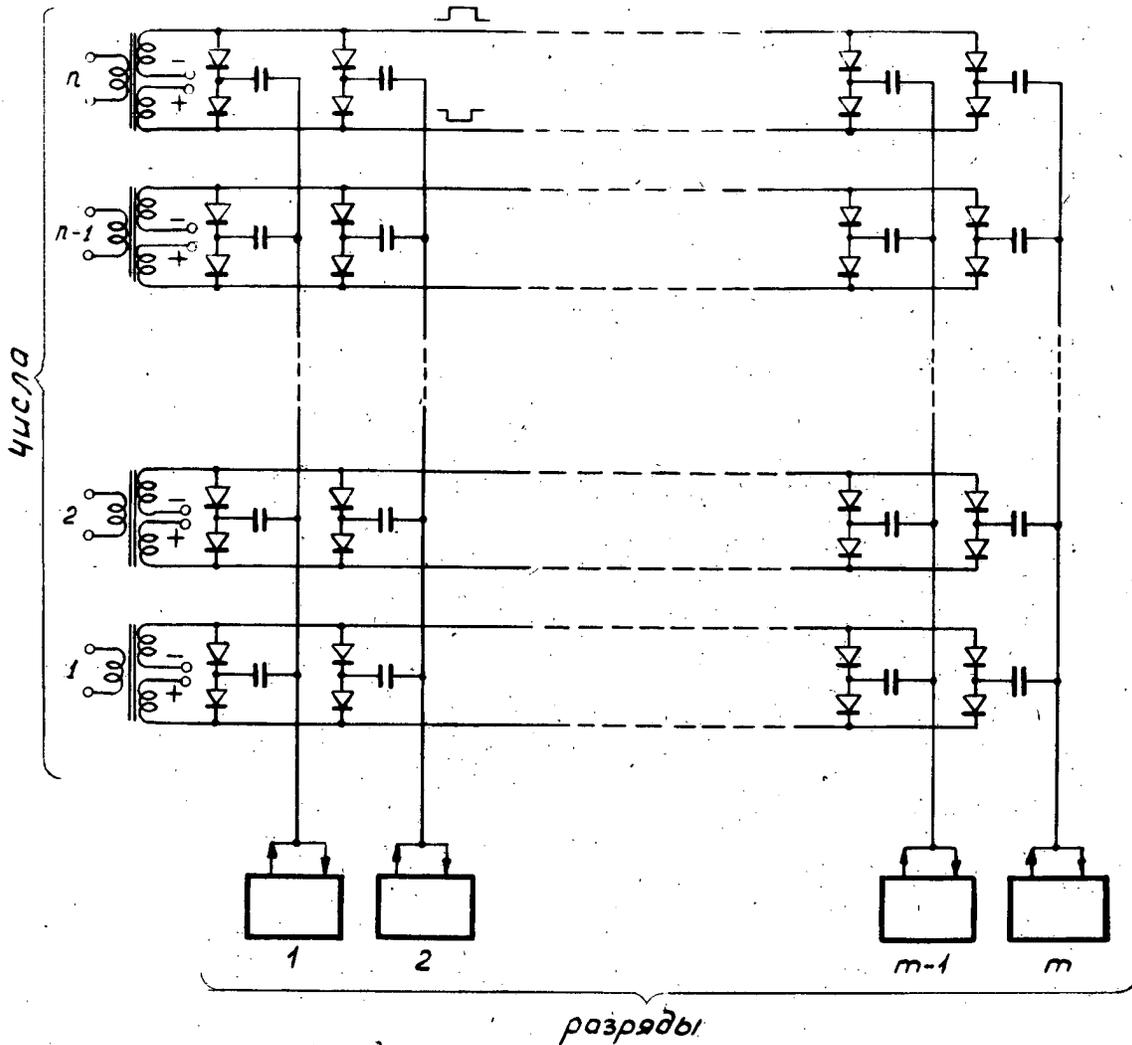


Рис. 5. Схема коммутации ЗУ емкостью в  $n$   $m$  - разрядных чисел

на рис. 5. Регенерация всех чисел происходит поочередно, все разряды

каждого числа регенерируются одновременно. Вначале открываются все диодные вентили первого числа и блоки регенерации, расположенные в нижней части схемы, производят одновременную регенерацию всех его  $m$  разрядов, затем открываются вентили второго числа и производится регенерация всех  $m$  разрядов второго числа и т.д. После регенерации  $n$ -го числа вновь происходит регенерация первого числа и дальше в том же порядке.

В случае записи вентили ячеек открываются обычным образом, цепь регенерации прерывается и на шину разряда подается импульс нужной полярности. Считывание, как было упомянуто выше, производится параллельно с процессом регенерации.

### 3. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ДИОДАМ ЯЧЕЕК ЗУ

Очевидно, что максимально допустимая емкость ЗУ определяется тем, какое количество регенераций можно произвести в течение того времени, когда напряжение на конденсаторе одной ячейки изменяется от некоторого максимального до некоторого минимально допустимого значения, или, иными словами, определяется отношением  $\tau_{\text{разр}}/\tau_{\text{зар}}$ .

Ввиду того, что

$$\frac{\tau_{\text{разр}}}{\tau_{\text{зар}}} \approx \frac{R_{\text{обр}}}{R_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где  $R_{\text{обр}}$  и  $R_{\text{пр}}$  — соответственно обратное и прямое сопротивление диодов ячейки, то очевидно, что с достаточной для практики точностью максимально возможную емкость ЗУ  $N_{\text{макс}}$  можно определить из выражения:

$$N_{\text{макс}} = K \frac{R_{\text{обр}}}{R_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

где  $K$  — некоторый постоянный коэффициент, полученный экспериментальным путем.

Таким образом, основным требованием, предъявляемым к диодам ячеек, является требование, как можно большей величины отношения  $R_{\text{обр}}/R_{\text{пр}}$

Вторым важным требованием, предъявляемым к диодам, является требование минимальной собственной емкости. Как видно из рис. 5, при выборе какого-либо числа к каждой разрядной шине оказываются присоединенными паразитные емкости диодов остальных  $n-1$  невыбранных разрядов.

Величина этой суммарной паразитной емкости равна

$$\Sigma C_{\text{пар}} \approx 2 (n - 1) C_{\text{пар}}, \quad (3)$$

где  $C_{\text{пар}}$  - собственная емкость одного диода.

При большой емкости ЗУ эта паразитная емкость может иметь большую величину. Уменьшить влияние паразитной емкости можно, если разбить все разряды на группы и объединить их с помощью диодов.

Из самого принципа работы ЗУ на диодах и конденсаторах вытекает также требование малой продолжительности переходных процессов в диодах ячеек при переходе диодов от проводящего состояния к непроводящему и наоборот.

#### 4. УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ЗУ

*Дешифратор.* Для нормальной работы ЗУ необходим быстродействующий дешифратор, способный выдавать на шины числа импульсы мощностью  $1-2 \text{ вт}$ . Обычная диодная матрица не может обеспечить достаточно большой скорости работы ЗУ и, кроме того, потребляет большую мощность по постоянному току. Гораздо лучшие результаты дает схема матрицы на трансформаторах и диодах (рис. 6).

Для выбора числа на одну горизонтальную шину этой матрицы подается отрицательный импульс и на одну вертикальную - такой же импульс, но другого знака. Амплитуды этих импульсов и напряжения смещения  $+U_p - U$  подобраны таким образом, что ток проходит только через обмотку того трансформатора, который находится на пересечении этих двух шин. Такая матрица имеет  $2n$  входов и  $n^2$  выходов. Вторичные обмотки трансформато-

ров, находящихся на пересечении шин матрицы, подключаются к шинам чисел. Амплитуда ложного сигнала, возникающего на выходных обмотках тех трансформаторов матрицы, которые подключены к выбранным шинам, будет

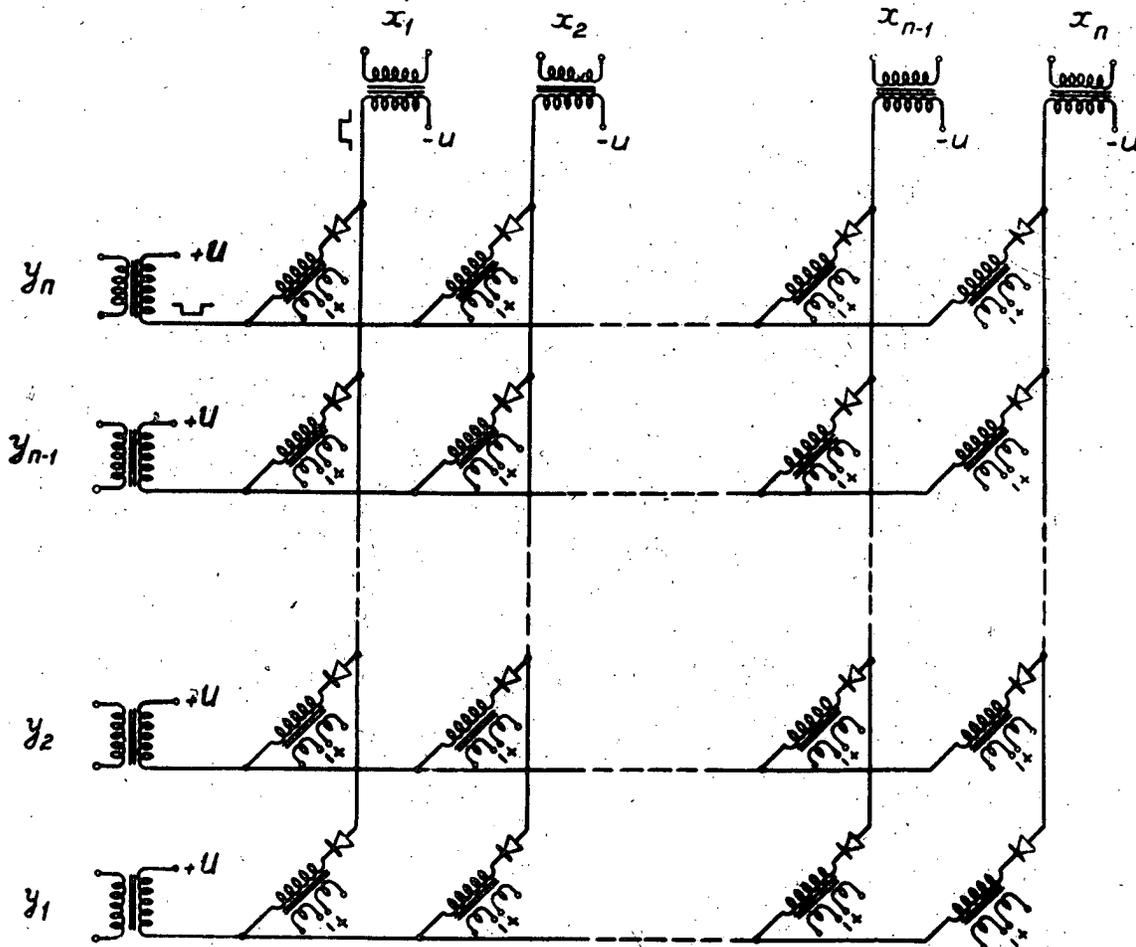


Рис. 6. Схема дешифраторной матрицы на диодах и трансформаторах

зависеть от величины собственной емкости  $C_{\text{пар}}$  и сопротивления диодов. Поэтому выгодно выбирать для дешифраторной матрицы диоды с малой собственной емкостью и малым прямым сопротивлением.

*Скелетная схема управления ЗУ.* Скелетная схема ЗУ на 256 сорокаразрядных двоичных чисел изображена на рис. 7. Во время регенерации двоичный счетчик 1:256 управляет через дешифраторы первой ступени "X" и "Y" дешифратором на 256 чисел. В качестве дешифраторов "X" и "Y" мо-

гут быть использованы обычные диодные дешифраторные матрицы потенциальные или импульсные. В момент обращения к ЗУ, т.е. при осуществлении операций записи или считывания, генератор тактовых импульсов, от которого

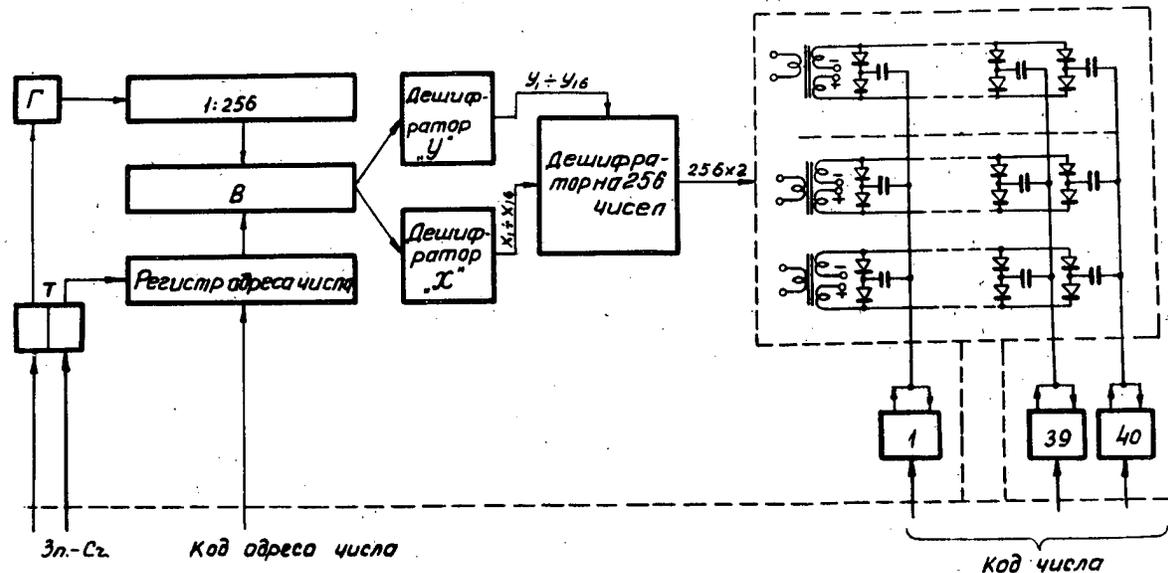


Рис. 7. Скелетная схема ЗУ на 256 сороказначных чисел

питается счетчик 1:256, выключается, счетчик останавливается и импульсы на дешифраторы "У" и "Х" выдаются с регистра адреса числа. Блок "В" представляет собой блок вентиля объединения регистра адреса числа и счетчика.

Осуществление операций записи и считывания удлиняет среднее время регенерации. Частота обращений к ЗУ определяется типом машины и типом решаемой задачи. В некоторых случаях обращение к ЗУ может быть очень частым, поэтому при определении максимальной емкости ЗУ необходимо принимать в расчет и время обращения.

##### 5. ВЕРХНИЙ ПРЕДЕЛ СКОРОСТИ РАБОТЫ ЗУ

Как было показано выше, максимальная емкость ЗУ при данном типе диодов может быть определена по формуле (2).

В эту формулу величина емкости конденсатора не входит. При увеличении емкости конденсатора ячейки увеличивается время разряда конденсатора, но одновременно увеличивается и время заряда.

Таким образом, изменяя величину емкости конденсатора ячейки, можно в широких пределах менять скорость работы ЗУ. Увеличивать скорость работы за счет уменьшения емкости конденсатора ячейки свыше определенного предела нельзя по следующим причинам:

а) Уменьшение величины емкости усиливает влияние паразитной емкости монтажа и собственной емкости диодов.

б) При большой скорости работы ЗУ включение и выключение диодных вентилях ячеек происходит чрезвычайно быстро и начинают сказываться переходные процессы в диодах. После окончания импульса числа, открыва-

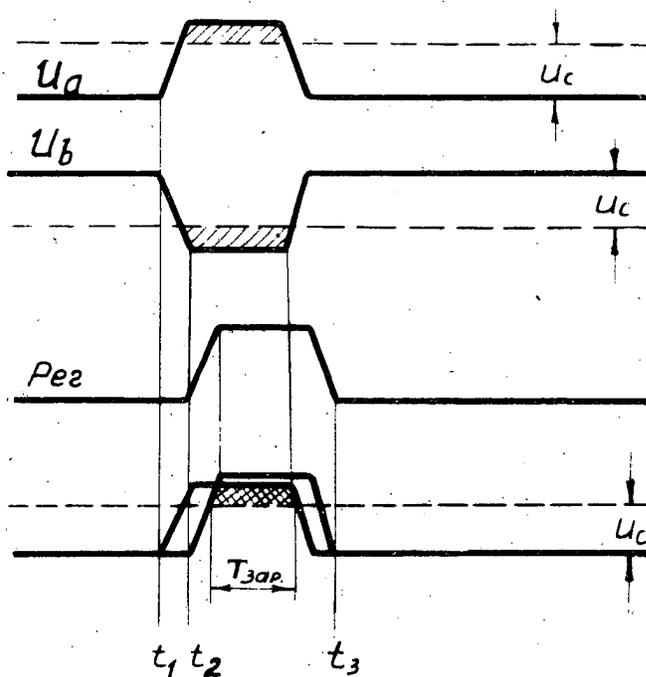


Рис. 8

ющего диодные вентиля числа, диоды восстанавливают высокое обратное сопротивление не сразу, а в течение какого-то промежутка времени, причем, что особенно важно, время восстановления даже у диодов одной и той же партии может быть различно. Асимметрия сопротивлений в момент закрытия вентилях может сильно исказить хранящиеся в ЗУ данные.

в) При большой скорости работы понижается эффективность цепей записи и регенерации. Процесс регенерации состоит в том, что в течение времени, когда диоды  $D_1$  и  $D_2$  ячейки открыты (рис. 4), происходит заряд конденсатора  $C$ . Импульс регенерации (рис. 8) несколько

запаздывает по отношению к импульсам  $U_a$  и  $U_b$ , открывающим вентили ячеек выбранного числа, на время  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

Это время задержки трудно сделать меньшим, чем 0,1-0,2 мксек. При этом следует также учитывать, что диодные вентили ячеек открываются не сразу, так как на шинах числа имеется постоянное напряжение смещения  $\pm U_c$ . Поэтому ток, производящий заряд или перезаряд конденсатора ячейки, может протекать в течение времени, соответствующего совпадению вершин импульсов  $U_a$  и  $U_b$  и импульса регенерации (заштрихованная часть импульса на нижнем графике рис. 8).

Очевидно, что сокращение длительности регенерации повлечет за собой ухудшение условий заряда и при некоторой длительности импульсов  $U_a$  и  $U_b$ , зависящей от времени задержки  $\Delta t$  и времен нарастания и спада импульсов, заряд прекратится вообще.

Результаты проведенных нами экспериментов показывают возможность изготовления ЗУ на диодах и конденсаторах со средним временем выборки порядка одной микросекунды.

## 6. СРАВНЕНИЕ СПОСОВОВ ОДНОПОЛЯРНОЙ И ДВУПОЛЯРНОЙ ЗАПИСИ

Во всех последующих рассуждениях мы исходим из следующих условий:

При однополярной работе знаку "1" соответствует наличие отрицательного заряда, а знаку "0" - отсутствие заряда; при двуполярной работе знаку "1" соответствует наличие отрицательного заряда, а знаку "0" - наличие положительного заряда.

Значения прямых и обратных сопротивлений, используемых в ЗУ диодов, не выходят за пределы установленных допусков, однако в одной ячейке могут быть установлены диоды, имеющие максимальный разброс в пределах этих допусков.

*Влияние асимметрии прямых сопротивлений диодов ячейки.* Рассмотрим отдельную ячейку в процессе регенерации (рис.9). Предположим, что в

состоянии покоя к точкам  $a$  и  $b$  подается напряжение смещения  $\pm U$ , а в момент регенерации, когда диоды проводят, напряжения в точках  $a$  и  $b$  равны  $\pm E$ . Очевидно, что всякая асимметрия прямых сопротивлений диодов

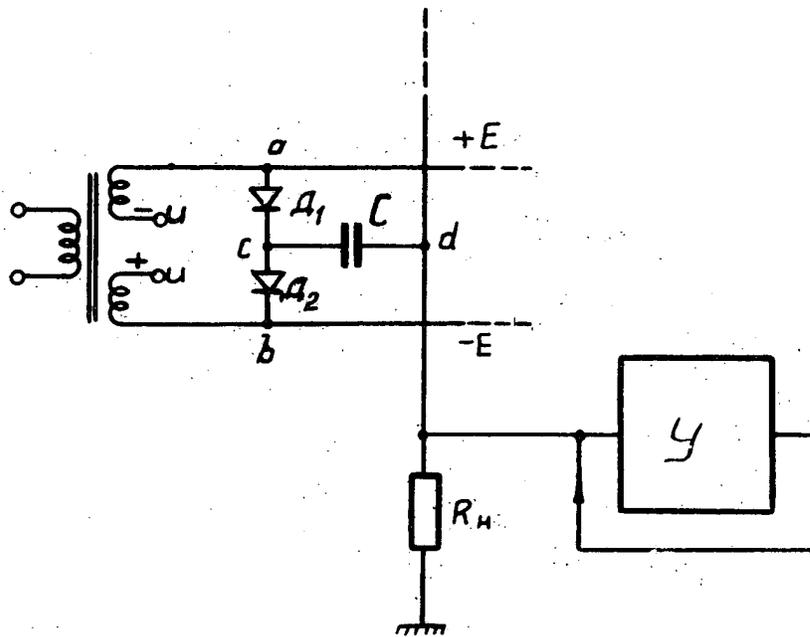


Рис. 9

вызовет появление в точке  $C$  импульса помехи, амплитуда которого равна:

$$U_{\text{п}} = E \frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1}, \quad (4)$$

где  $r_2$  и  $r_1$  - прямые сопротивления диодов  $D_1$  и  $D_2$ .

Этот импульс через конденсатор  $C$  передается в точку  $d$  и складывается с основным сигналом. В процессе хранения напряжение конденсатора будет меняться от некоторой максимальной величины  $U_{\text{макс}}$  до некоторой минимальной величины  $U_{\text{мин}}$ . Очевидно, что наиболее сильное влияние импульс помехи будет оказывать тогда, когда напряжение на конденсаторе близко к минимуму. В зависимости от знаков помехи и основного сигнала основной сигнал будет или увеличиваться, или уменьшаться. Наихудшим случаем при способе дупольярной записи будет случай, когда основной

импульс и импульс помехи имеют противоположные знаки. Здесь для компенсации действия импульса помехи нужно увеличивать величину  $U_{\text{мин}}$ , что вызывает увеличение частоты регенерации и, следовательно, уменьшение максимально возможной емкости ЗУ.

Импульс помехи, имеющий положительную полярность, при достаточно большой его амплитуде в случае хранения "0" в системе однополярной записи может вызвать ложную запись "1". Поэтому минимальная величина  $U_{\text{мин}}$  полезного сигнала определяется допустимой асимметрией прямых сопротивлений диодов. В разработанных нами экспериментальных макетах ЗУ величина асимметрии прямых сопротивлений не выходила за пределы

$$\left| \frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1} \right| \leq 0,4 \quad (r_2 = 770 \text{ ом}, r_1 = 330 \text{ ом}) .$$

Полагая  $E < 2e$ , получаем  $U_{\text{п}} \leq 0,8e$ . В упомянутых макетах  $U_{\text{мин}} \cong 2e$ .

Вообще говоря, с точки зрения асимметрии прямых сопротивлений диодов обе системы записи, однополярная и двуполярная, приблизительно равноценны.

*Влияние асимметрии обратных сопротивлений диодов.* Процессы хранения "1" в системах однополярной и двуполярной записи протекают совершенно одинаково, поэтому чтобы сравнить устойчивость этих систем при данной асимметрии обратных сопротивлений диодов нужно рассмотреть процессы хранения "0". Рассмотрим сначала хранение "0" в системе двуполярной записи. В этом случае на конденсаторе хранится положительный заряд. Если обратные сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  диодов  $D_1$  и  $D_2$  равны, то напряжение на конденсаторе  $C$  будет меняться по закону:

$$U_C = U_{\text{макс}} e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (5)$$

где  $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_{\text{н}}$ , а так как  $R_1 \gg R$  и  $R_2 \gg R$ , то можно считать,

$$\text{что } R \cong \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Время хранения будет равно:  $t_1 = RC \ln \frac{U_{\text{макс}}}{U_{\text{мин}}}$

Если же  $R_1 \neq R_2$ , то заряд конденсатора будет происходить по закону:

$$U_C = \left( U_{\text{макс}} - U \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} \right) e^{-\frac{t}{RC}} + U \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} \quad (6)$$

В случае полной симметрии обратных сопротивлений, диодов в системе однополярной записи после записи "0" напряжение на конденсаторе остается равным нулю, если же  $R_1 \neq R_2$ , то непосредственно после записи "0" напряжение на конденсаторе ячейки начинает изменяться по сложной кривой, показанной на рис.10. В промежутки времени между двумя циклами регенерации (интервалы времени  $t_1$ ) происходит заряд конденсатора, причем постоянная времени заряда  $\tau_1$  равна  $\tau_1 = C \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ , а в момент регенерации (интервалы времени  $t_2$ ) - разряд, причем постоянная времени цепи разряда  $\tau_2$  равна  $\tau_2 = C \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}$ , где  $r_1$  и  $r_2$  - прямые сопротивления диодов  $D_1$  и  $D_2$ .

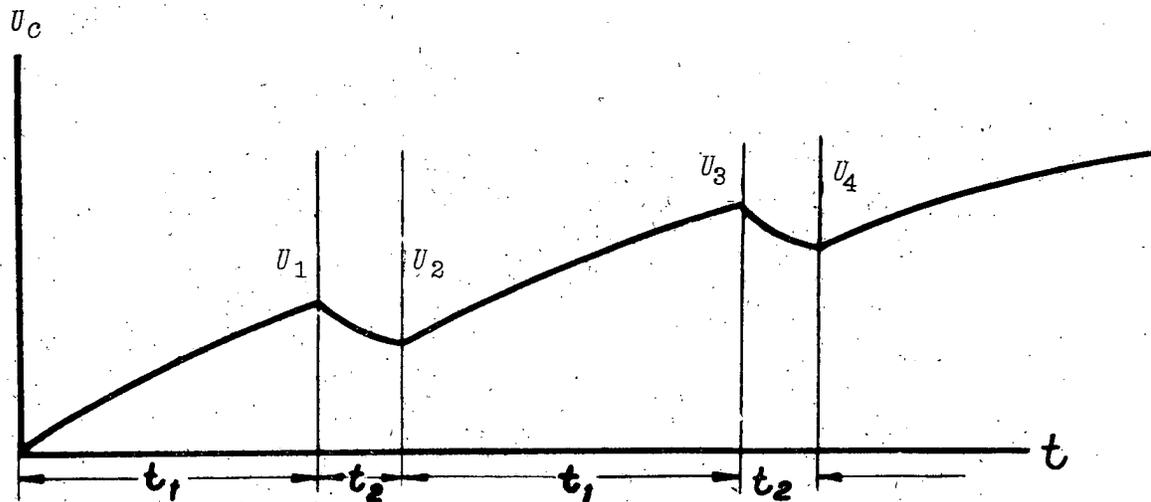


Рис.10. Изменение напряжения на конденсаторе ячейки в случае записи знака "0" при однополярной системе записи

Произведя несложный подсчет, находим, что напряжение на конденсаторе стремится к предельному значению:

$$U_C = U \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1 - e^{-\frac{t_1}{\tau_1}}}{1 - e^{-\left(\frac{t_1}{\tau_1} + \frac{t_2}{\tau_2}\right)}} \quad (7)$$

В зависимости от знака разности  $R_1 - R_2$  это напряжение может быть и положительным и отрицательным. Наиболее опасным является тот случай, когда конденсатор заряжается отрицательно. В этом случае накопление заряда может вызвать ложную запись. Если уменьшить время хранения  $t_1$  (что соответствует увеличению частоты регенерации и, следовательно, уменьшению максимальной емкости), то уменьшится последний сомножитель в выражении (7) и понизится уровень сигнала помехи.

Вследствие того, что в общем виде провести сравнение обеих систем записи очень трудно, проведем более наглядное численное сравнение, приняв следующие исходные данные, полученные при испытании одного из экспериментальных макетов:

$$U_{\text{макс}} = 4\text{в}; U_{\text{мин}} = 2\text{в}; \frac{t_1}{\tau_1} = 2; \frac{t_1}{\tau_2} = 0,25;$$

$$R_1 = 0,5 \cdot 10^6 \text{ом}, C = 0,01 \text{ мкф}; U = 6\text{в}.$$

Из формулы (6) можно определить максимальную длительность интервала между двумя циклами регенерации (для двуполярной записи)

$$t_1 = C \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \ln \frac{U_{\text{макс}} - U \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2}}{U_{\text{мин}} - U \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2}}. \quad (8)$$

Предположим, что  $R_1 = 0,5 \cdot 10^6 \text{ом}$ , а  $R_2$  меняется в пределах  $\infty > R_2 > R_1$  и проследим, как это отразится на изменении  $t_1$ , понимая под  $t_1$  время, в течение которого напряжение на конденсаторе изменяется от  $U_{\text{макс}} = 4\text{в}$  до  $U_{\text{мин}} = 2\text{в}$ . На верхнем графике рис. 11 нанесены величины  $t_1$  из выражения (8) при принятых нами выше значениях  $U_{\text{макс}}$ ,  $U_{\text{мин}}$  и т.д.

Рассмотрим теперь, как будет происходить заряд конденсатора при однополярной работе и при наличии некоторой асимметрии обратных сопротивлений диодов ячейки. Мы приняли выше, что  $U_{\text{мин}} = 2\text{в}$ . Очевидно, что блок регенерации каждого разряда имеет некоторый коэффициент запаса и будет срабатывать при меньшем пороговом напряжении, например при  $U_{\text{пор}} = 1\text{в}$ .

Выразим из уравнения (7)  $t_1$  как функцию  $\frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2}$ :

$$t_1 = C \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \ln \frac{U \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} - U_{пор} e^{-\frac{t_2}{\tau_2}}}{U \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} - U_{пор}} \quad (9)$$

Если полагать, как и в первом случае, что  $R_1 = \text{const} = 0,5 \text{ мом}$ , а  $R_2$  изменяется в пределах  $\infty > R_2 > R_1$ , то можно подобрать такое  $t_1$ , что напряжение на конденсаторе ячейки, возникающее при хранении "0" в однополярной системе, не превысит заданной величины  $U_{пор}$ . Нижняя кривая рис. 11 изображает зависимость между  $t_1$  и  $R_2$  при  $U_{пор} = 1 \text{ в}$ .

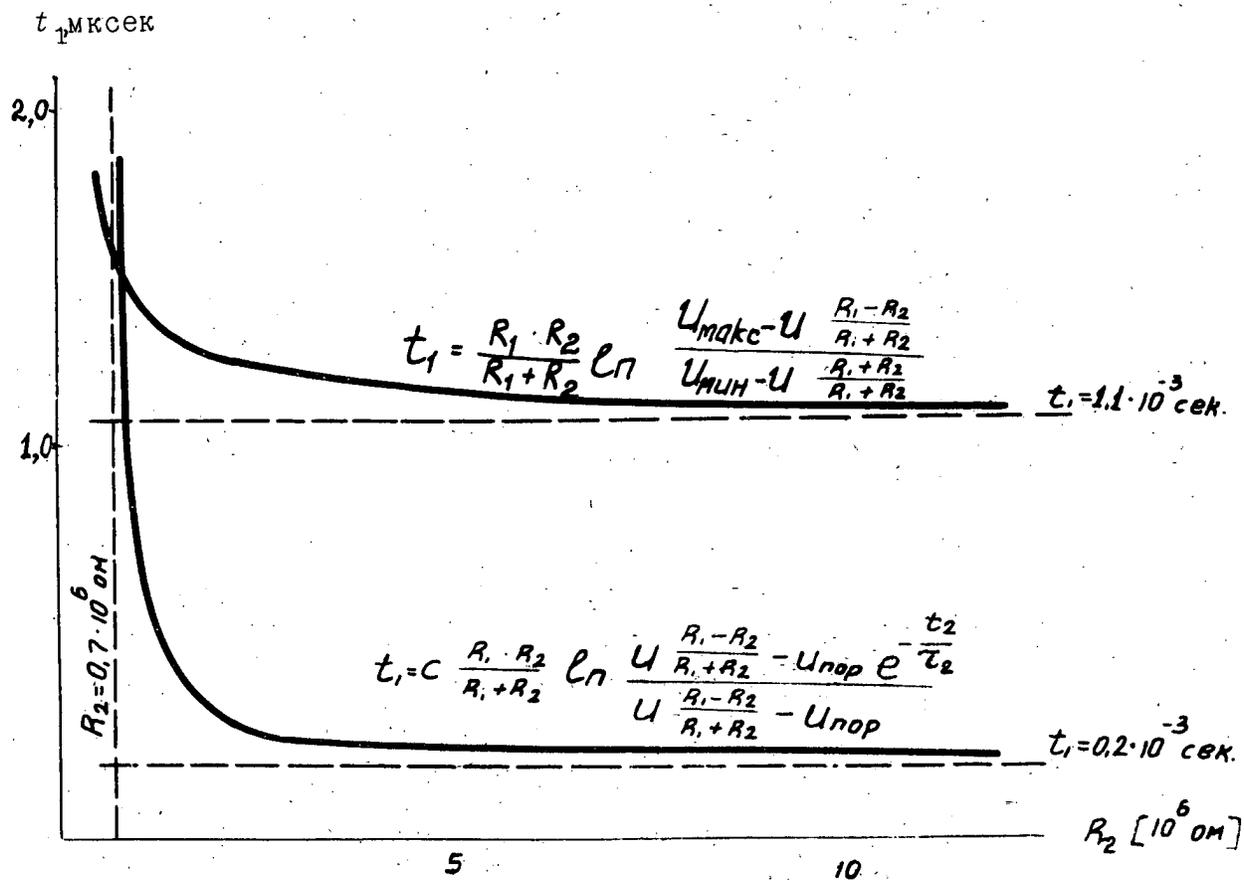


Рис. 11. Сравнение двуполярной и однополярной систем записи

Из сравнения кривых рис. 11 можно сделать вывод, что при малой асимметрии ( $R_2 \approx R_1$ ) обе системы ведут себя одинаково, а при большой - система двуполярной записи может обеспечить приблизительно в 5 раз

большую емкость ЗУ, чем система однополярной записи.

Система двуполярной записи имеет еще одно преимущество. Если при системе однополярной записи уровень сигнала по каким-либо причинам

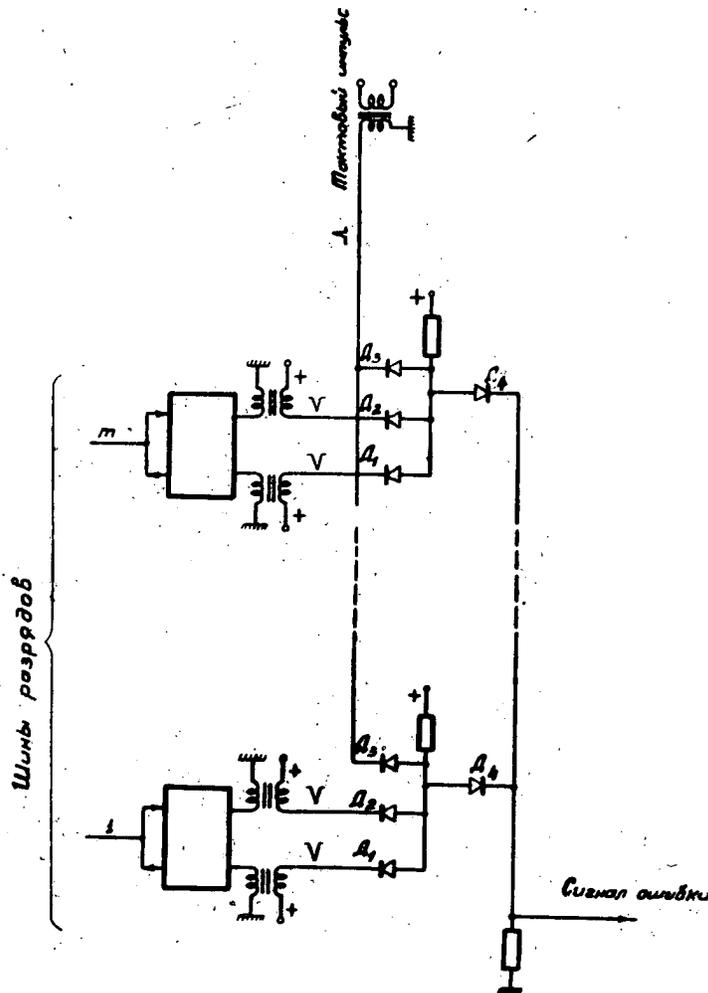


Рис.12. Схема сигнализации пропадания знака.

(например, старение диодов ячейки или ламп блока регенерации) упадет ниже величины  $U_{пор}$ , в ЗУ вместо "1" будет храниться "0" и эта ошибка не сразу может быть замечена. В системе же двуполярной записи пропадание "1" или "0" выражается в отсутствии импульсов на выходе блока регенерации, а этот дефект легко обнаружить непосредственно в момент его возникновения, например пользуясь схемой, изображенной на рис.12. Здесь с выхода каждого блока регенерации подаются запрещающие импульсы. При отсутствии на выходе какого-либо из блоков регенерации обоих сигналов и "1" и "0", на выходе логической схемы этого разряда возникает положительный импульс, проходящий через соответствующий диод  $D_4$  на шину сигнала ошибки. При этой схеме неисправность будет обнаружена

(например, старение диодов ячейки или ламп блока регенерации) упадет ниже величины  $U_{пор}$ , в ЗУ вместо "1" будет храниться "0" и эта ошибка не сразу может быть замечена. В системе же двуполярной записи пропадание "1" или "0" выражается в отсутствии импульсов на выходе блока регенерации, а этот дефект легко обнаружить непосредственно в момент

в момент ее возникновения.

Попутно следует отметить, что схема ЗУ при обеих системах записи позволяет ввести очень простой способ профилактической проверки. Поскольку большинство неисправностей ЗУ (уход обратных сопротивлений диодов, асимметрия прямых сопротивлений диодов, потеря эмиссии ламп блока регенерации и т.д.) влечет за собой уменьшение промежутков времени  $t_1$  между двумя циклами регенерации, можно, снижая в процессе проверки частоту регенерации, легко обнаружить слабые места в схеме.

*Влияние температуры на устойчивость хранения.* Известно, что прямое и обратное сопротивление полупроводниковых триодов с повышением температуры уменьшается.

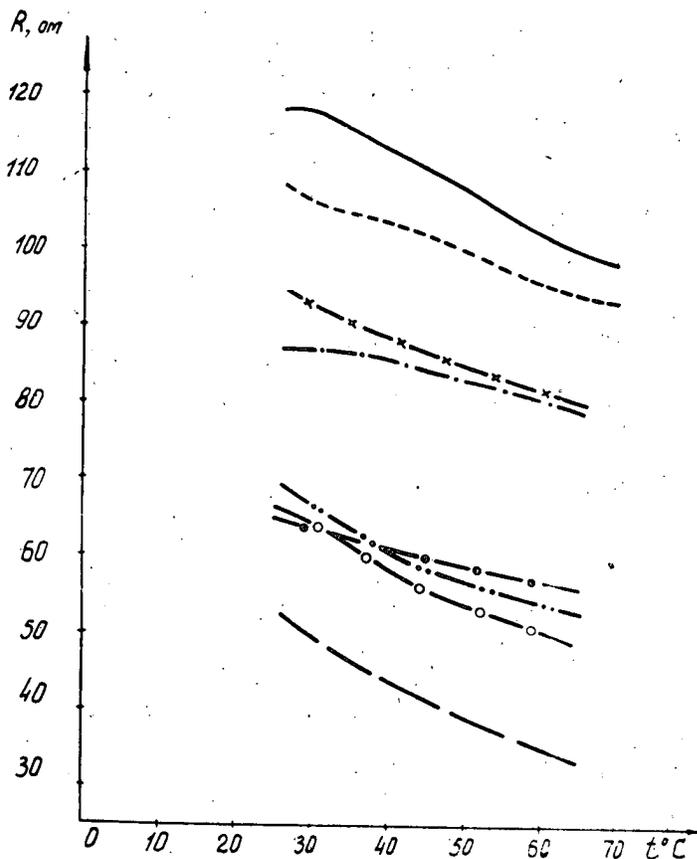


Рис. 13. Температурная зависимость прямых сопротивлений диодов типа ДГЦ-8

Нами были измерены прямые и обратные сопротивления диодов типа ДГЦ-8, установленных в одном из макетов ЗУ, в диапазоне температур 20-60°C. Результаты измерений приведены на рис. 13, 14. Как можно видеть из этих графиков, обратное сопротивление диодов в исследованном диапазоне температур изменяется гораздо больше, чем прямое сопротивление. Постоянная времени цепи заряда конденсатора ячейки ЗУ определяется не только прямыми

сопротивлениями диодов ячейки, но и выходным сопротивлением источника

тока (рис.15,а) и равна

$$\tau_{\text{зар}} = \left( \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} + r + \frac{R_i}{n^2} \right) C. \quad (10)$$

Очевидно, что незначительные изменения величины  $r_1$  и  $r_2$ , вызываемые действием температуры, мало влияют на процесс заряда конденсатора.

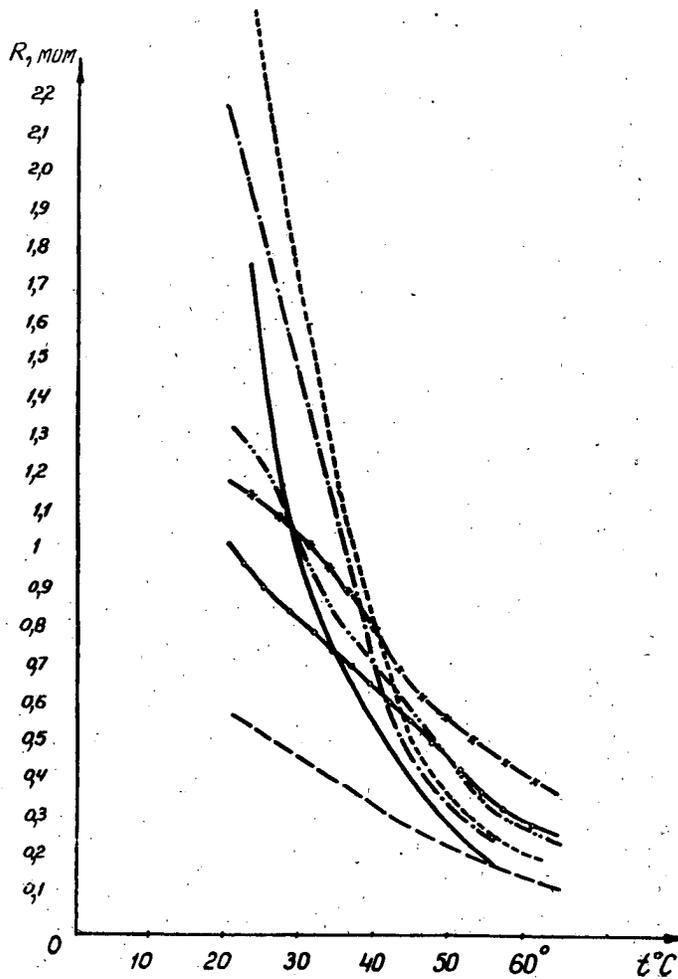


Рис.14. Температурная зависимость обратных сопротивлений диодов типа ДГЦ-8

Время же разряда конденсатора, зависящее только от обратных сопротивлений диодов, а следовательно и максимальная емкость ЗУ, с повышением температуры значительно уменьшаются. Поэтому, если ЗУ емкостью, близкой к максимально возможной, предназначено для работы при высоких температурах, нужно предусмотреть охлаждение диодов ячеек.

Следует отметить также, что при использовании соответствующих кремниевых диодов,

обладающих, как известно, лучшей температурной стабильностью, работа ЗУ меньше зависит от температуры окружающей среды.

#### 7. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Нами были построены два макета ЗУ на диодах и конденсаторах. Макет № 1 имел емкость в четыре пятиразрядных числа при двуполярной системе

записи, макет № 2 - емкость в восемь пятиразрядных чисел при однополярной системе записи.

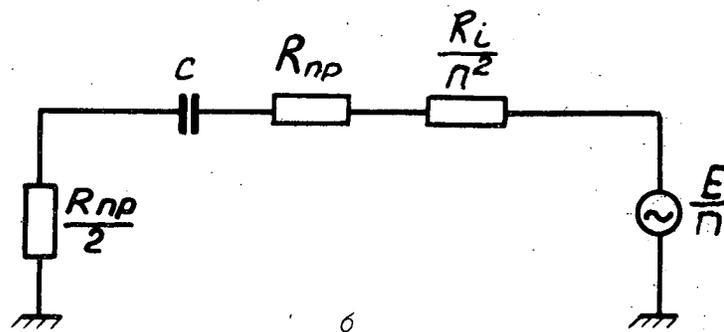
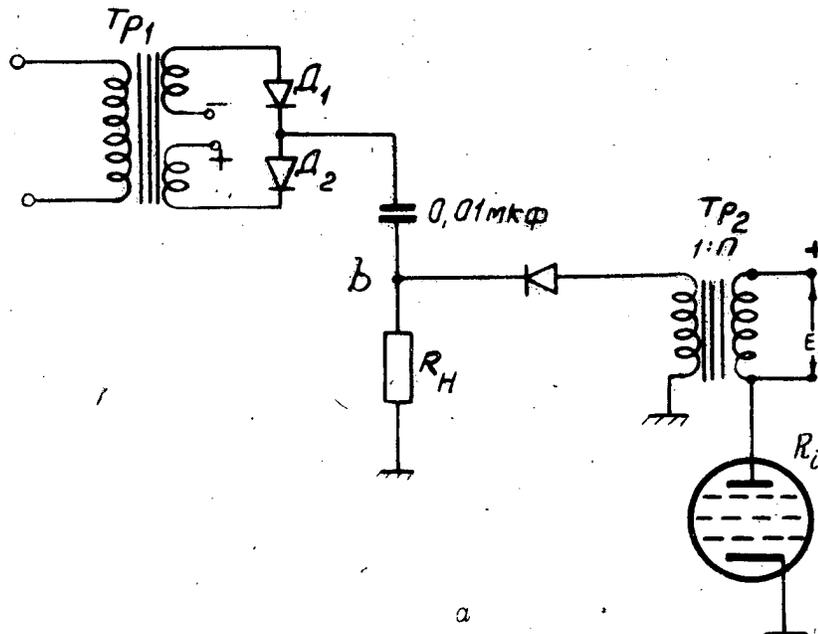


Рис. 15. Цепь заряда конденсатора ячейки (а) и ее эквивалентная схема (б)

Макет № 1 ЗУ. - Схема макета № 1 (рис. 16, 17) работает следующим образом:

Устройство управления. Работа устройства управления синхронизируется генератором "Г" главных (тактовых) импульсов (ГИ). Триггер  $T_3$  в положении "1" включает цепи регенерации, в положении "0" - цепи записи. Двухразрядный двоичный счетчик  $T_1 - T_2$  и деши -

фратор  $L_1 - L_4$  обеспечивают поочередную выдачу импульсов числа ( ИЧ ), открывающих входные вентили ячеек. Сигнальные и антидинаatronные сетки

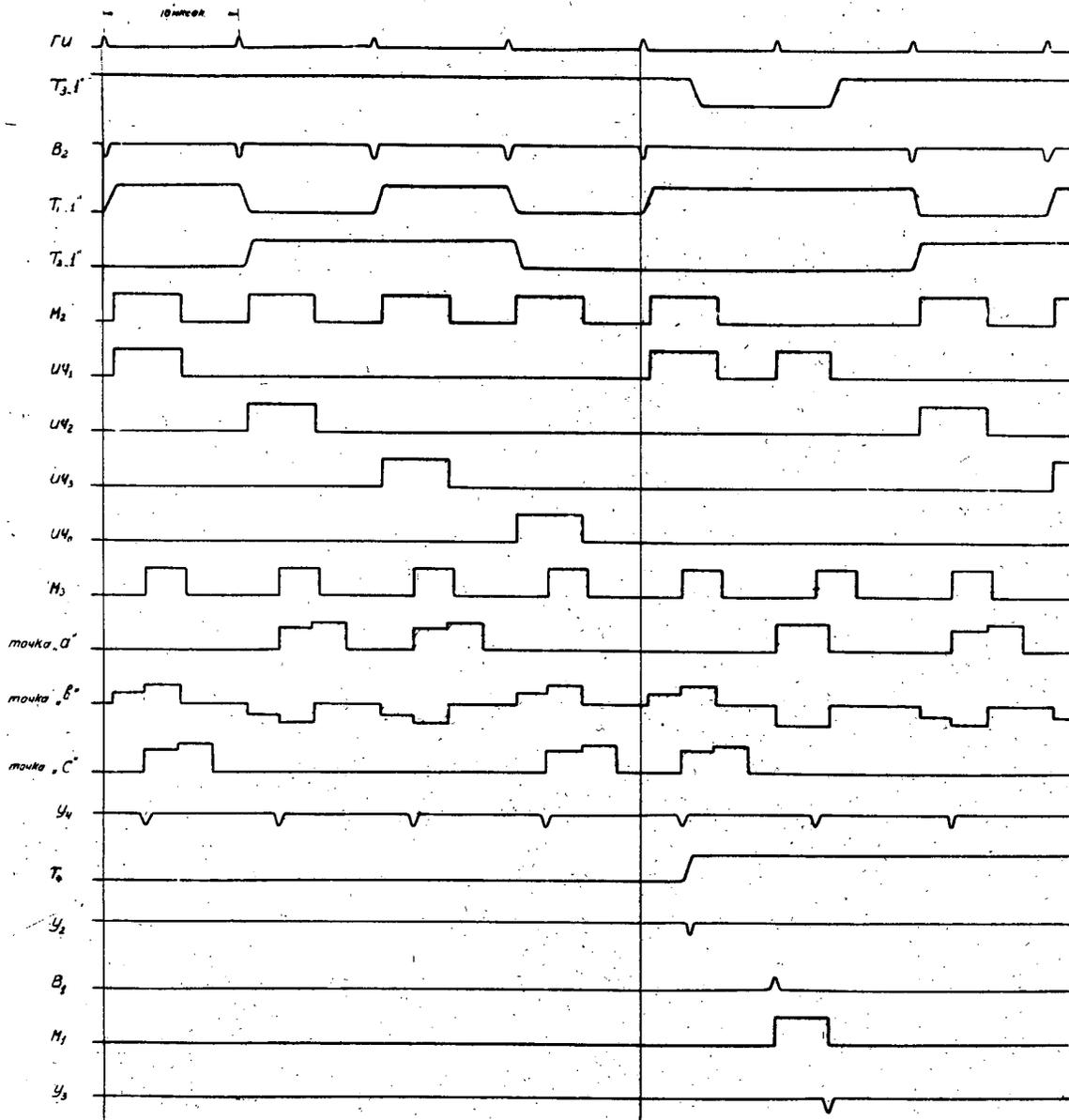
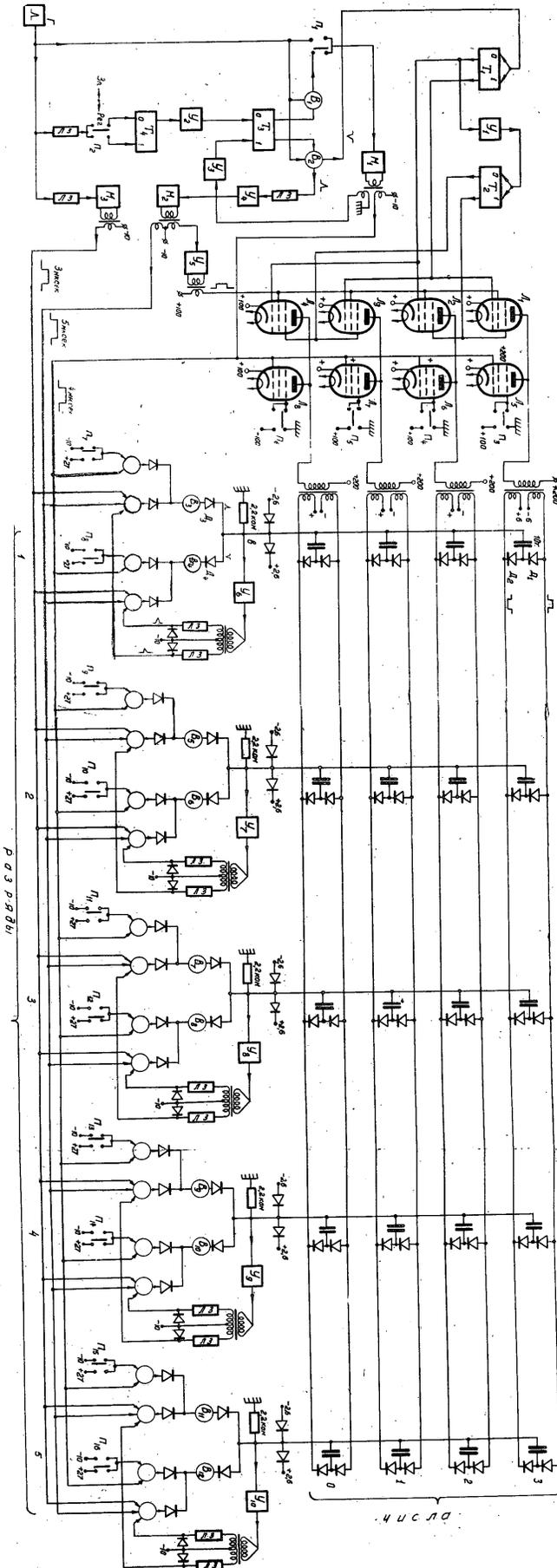


Рис. 17. Временная диаграмма работы макета № 1

ламп дешифратора присоединены к выходам счетчика, а на экранные сетки этих ламп от усилителя  $Y_5$  подаются импульсы длительностью 5 мксек. Мультивибратор  $M_2$  работает только при регенерации, мультивибратор  $M_1$  — только при записи. Выбор адреса числа при записи производится с помощью ламп  $L_5 - L_8$ .



Puc.16

PA3 PDB1

Процесс регенерации. Комплект блоков регенерации одного разряда состоит из двух блоков "В" и одного блока "У," схемы которых

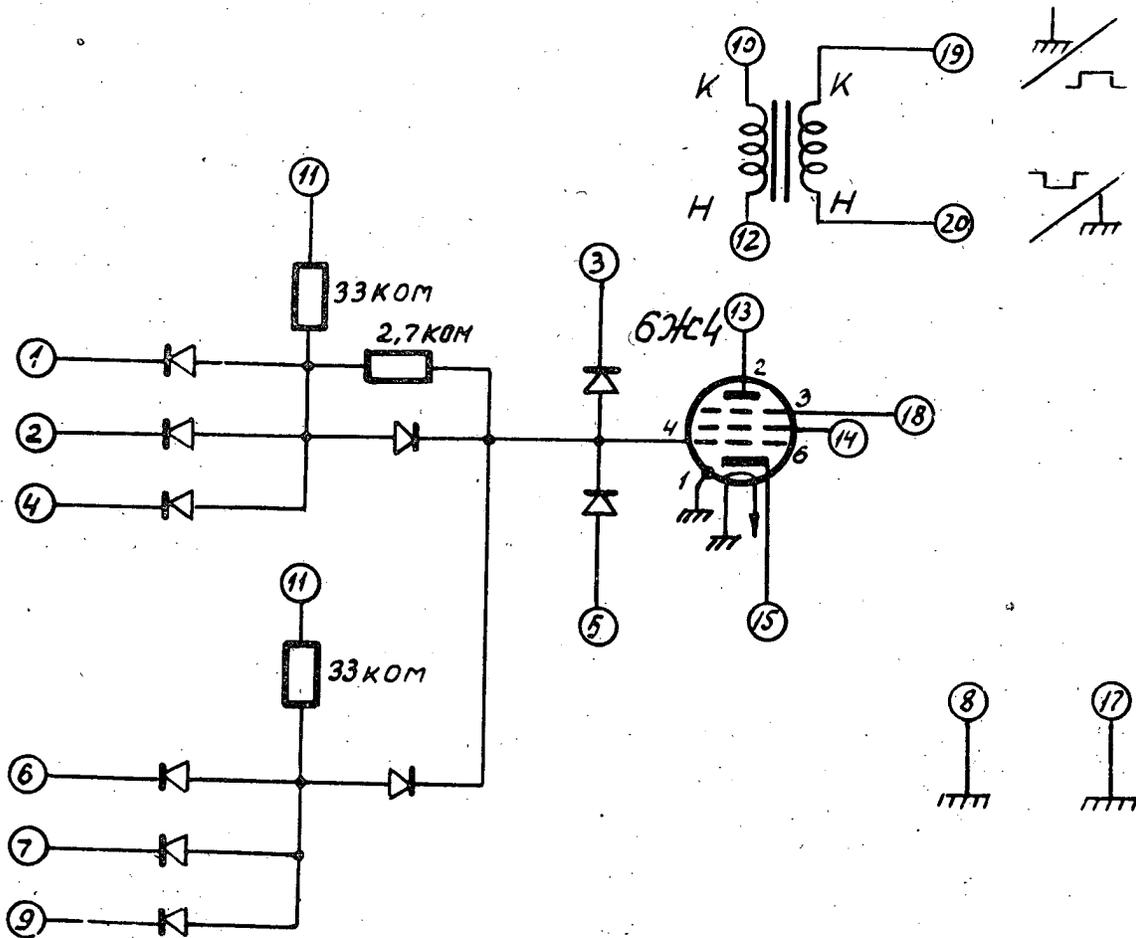


Рис. 18. Схема блока "В" макета № 1

приведены на рис. 18, 19. Диодные схемы объединения и разделения, конструктивно расположенные внутри блоков "В," на рис. 16 для большей ясности вынесены из блоков.

Рассмотрим процесс регенерации первого разряда числа. Допустим, что в ячейке первого разряда первого числа хранится "0". В этом случае на обкладке конденсатора ячейки, соединенной со средней точкой диодного вентиля, имеется заряд "+". При подаче импульса ИЧ на шины первого числа диоды этой ячейки (так же, как и диоды других ячеек пер-

вого числа) переходят в проводящее состояние, конденсатор  $C$  начинает разряжаться и на вход усилителя  $U_6$  поступает отрицательный импульс.

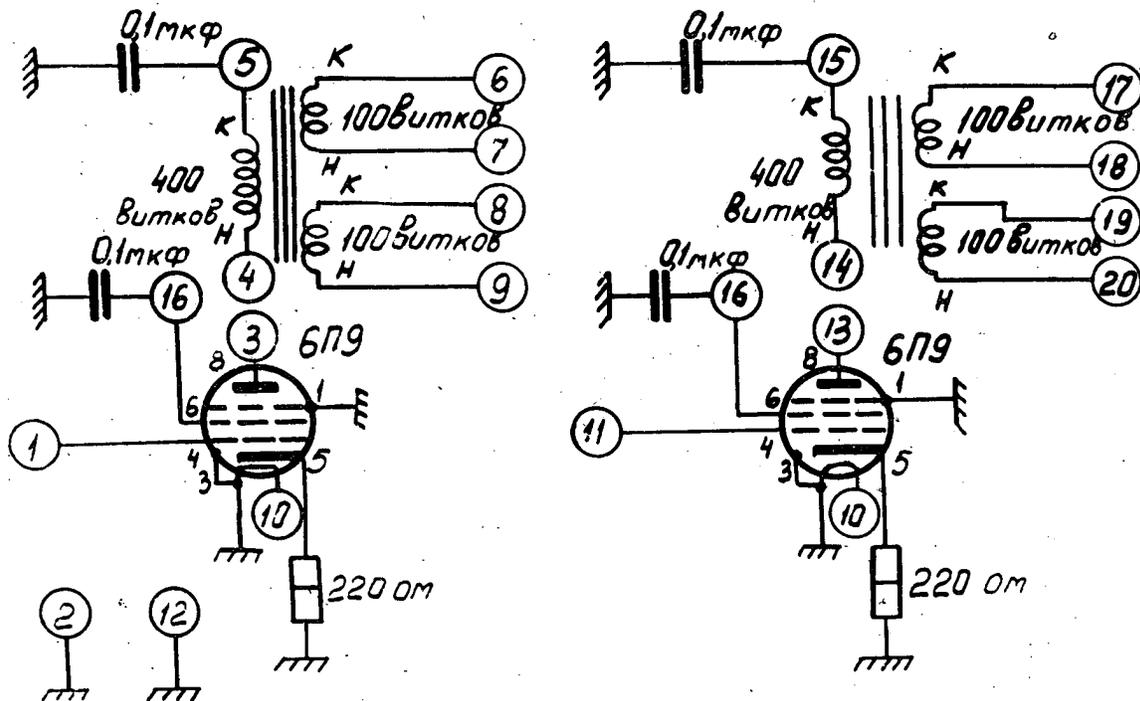
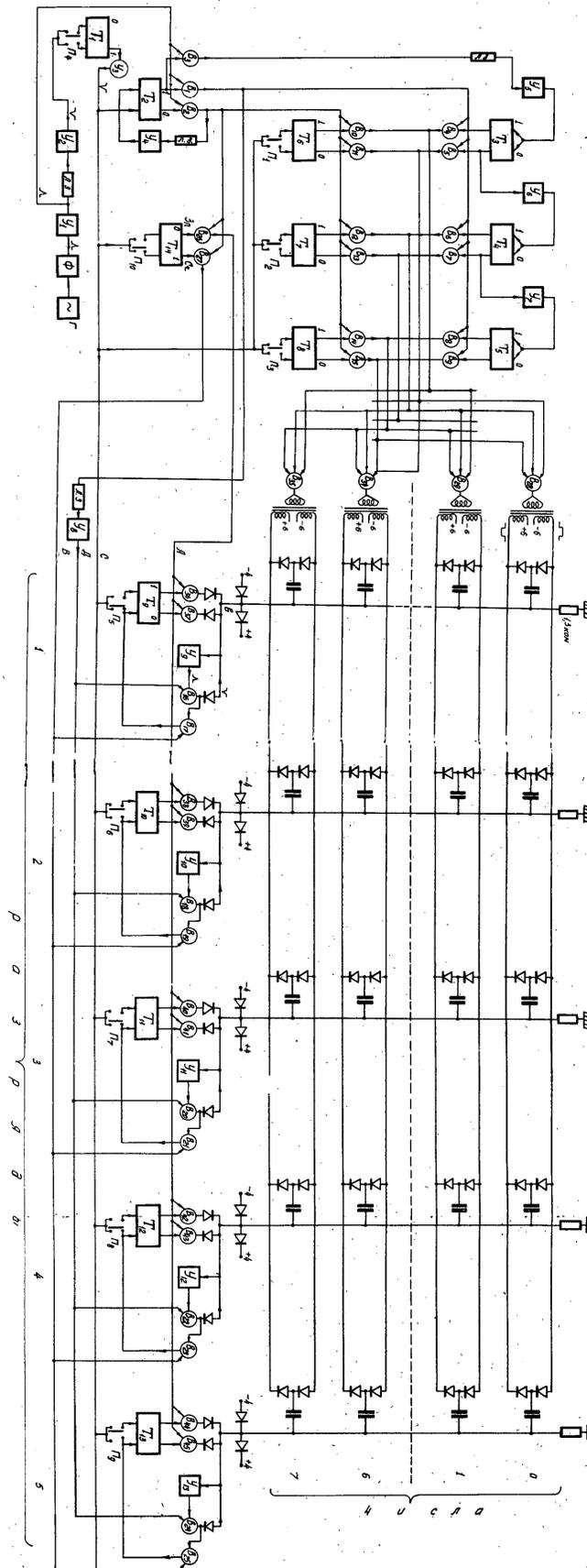


Рис. 19. Схема блока "у" макета № 1

На одном из входов вентиля  $B_3$  появляется задержанный отрицательный импульс, который будет иметь малую амплитуду, так как выход линии задержки шунтирован малым прямым сопротивлением диода, а на одном из входов  $B_4$  - положительный. Ввиду того, что вентили  $B$  реагируют только на положительные импульсы, срабатывает только вентиль  $B_4$ , а  $B_3$  не срабатывает. Вентиль  $B_4$  через диод  $D_4$  выдает отрицательный импульс на шину первого разряда и производит регенерацию заряда "+". При регенерации "1" (соответствует хранению заряда "-" в ячейке) на вентиль  $B_4$  поступает отрицательный импульс, а на вентиль  $B_3$  - положительный, поэтому срабатывает только вентиль  $B_3$  и на шину разряда выдается положительный импульс.

Puc. 20



После регенерации первого числа следует регенерация второго числа, затем третьего и т.д.

О п е р а ц и я з а п и с и . Адрес числа определяется положением переключателей  $P_3 - P_6$ , код числа - положением переключателей  $P_7 - P_{16}$ .

Допустим, что нам нужно записать код 10001 в адрес третьего числа. Для этого переключатели  $P_7, P_{10}, P_{12}, P_{14}, P_{15}$  ставятся в положение "+27в",  $P_8, P_9, P_{11}, P_{13}, P_{16}$  в положение "-10в",  $P_4, P_5, P_6$  в положение "1", переключатель  $P_3$  в положение "+100в". Переключатель  $P_2$  переводится в положение "3п".

Первый же поступивший импульс ГИ ставит триггер  $T_3$  в положение "0", счетчик  $T_1 - T_2$  останавливается и следующий импульс ГИ запускает мультивибратор  $M_1$ , который выдает импульс длительностью 4 мксек на все входы вентилей записи  $V_3 - V_{12}$ .

Срабатывает только те вентили, переключатели которых стоят в положении "+27в" ( в рассматриваемом случае это вентили  $V_4, V_5, V_7, V_9$  и  $V_{12}$ ), причем на шины разрядов выдаются импульсы, имеющие полярности " - ", " + ", " + ", " - " .

Регенерация в этот момент прерывается, так как мультивибратор  $M_2$ , выдающий разрешающий импульс в цепи регенерации, не срабатывает (триггер  $T_3$  находится в положении "0"); не срабатывает также и дешифратор  $L_1 - L_4$ . Импульс числа выдается лампой  $L_5$  второго дешифратора  $L_5 - L_8$ , антидинаatronная сетка которой находится под потенциалом катода и на сигнальную сетку которой подан импульс от мультивибратора  $M_1$ . Вентили  $L_6 - L_8$  не срабатывают, так как они заперты по антидинаatronным сеткам. По окончании импульса от мультивибратора  $M_1$  триггер  $T_3$  переходит в положение "1" и регенерация возобновляется.

П о д б о р д и о д о в . В описываемом макете были использованы диоды типа 324, данные которых приведены в табл. 1

Т а б л и ц а 1

Параметры диодов ячеек макета № 1

	Диод <sub>1</sub>		Диод <sub>2</sub>		$r_2 - r_1$	$R_1 - R_2$
	$r_1, \text{ом}$	$R_1, \text{мом}$	$r_2, \text{ом}$	$R_2, \text{мом}$	$r_2 + r_1$	$R_1 + R_2$
Максимальное значение	214	5,66	254	3,34	0,2	0,4
Минимальное значение	133	1,14	133	1,18	0,08	0,04

Р е з у л ь т а т ы и с п ы т а н и й м а к е т а . С ячейками на диодах 324 макет устойчиво работал при изменении частоты повторения импульсов ГИ от 400 имп/сек до  $85 \cdot 10^3$  имп/сек. При дальнейшем повышении скорости работы отказывали блоки устройства управления. Такой диапазон рабочих частот соответствует максимальной емкости ЗУ (без коэффициента запаса на нестабильность источников питания, старение ламп и диодов и т.д.)

$$N_{\text{макс}} = 4 \frac{85 \cdot 10^3}{400} = 850 \text{ чисел .}$$

Для определения возможности дальнейшего повышения скорости работы был создан описанный ниже макет № 2, работавший с импульсами ИЧ длительностью порядка 0,7 мксек.

Макет № 2 ЗУ. - При конструировании макета № 2 было обращено особое внимание на быстродействие цепей управления. Стандартные триггеры, примененные в макете № 1, были заменены триггерами, обладающими большим быстродействием, схемы блоков "В" и "У" остались без изменения, но в тран-

сформаторах были уменьшены объем железа сердечника и количество витков обмоток. Для упрощения схемы двуполярная система записи была заменена однополярной. Схема этого макета изображена на рис. 20, а временная диаграмма его работы на рис. 21.

Устройство управления (УУ) макета № 2. Скорость работы макета определяется частотой задающего генератора синусоидальных колебаний Г (рис. 20); формирователь Ф, на вход которого включен генератор Г, выдает импульсы положительной полярности длительностью около 1,2 мксек. Триггер Т<sub>1</sub> служит в качестве генератора единичных импульсов. Триггер Т<sub>2</sub> включает в положении "1" цепи регенерации и в положении "0" - цепи записи и считывания.

Адрес числа в процессе регенерации определяется трехразрядным счетчиком Т<sub>3</sub> - Т<sub>5</sub>, операции записи и считывания - состоянием триггера Т<sub>14</sub>. Дешифратор выполнен на входных диодных схемах совпадения и разделения вентилей В<sub>28</sub> - В<sub>35</sub>. В комплект блоков регенерации каждого разряда входят: по одному блоку В и одному блоку У; вентили В<sub>17</sub>, В<sub>19</sub>, В<sub>21</sub>, В<sub>23</sub>, В<sub>25</sub> работают в цепях считывания. Запись производится с помощью регистра числа, состоящего из триггеров Т<sub>9</sub> - Т<sub>13</sub> (вентили В<sub>36</sub> - В<sub>45</sub> конструктивно оформлены в одном блоке с соответствующими триггерами). Вывод числа при считывании осуществляется на регистр числа.

Процесс регенерации. Рассмотрим, как происходит регенерация первого разряда "0" числа. Допустим, что там хранится заряд "+", соответствующий двоичной цифре "0".

При поступлении от вентиля В<sub>1</sub> импульсов вентили В<sub>4</sub>, В<sub>6</sub>, В<sub>8</sub> срабатывают (счетчик Т<sub>3</sub> - Т<sub>5</sub> находится в положении "000", триггер Т<sub>2</sub> - в положении "1"). Дешифратор обеспечивает выдачу импульса ИЧ по шинам "0" числа, происходит разряд конденсатора ячейки через сопротивление 1,3 ком;

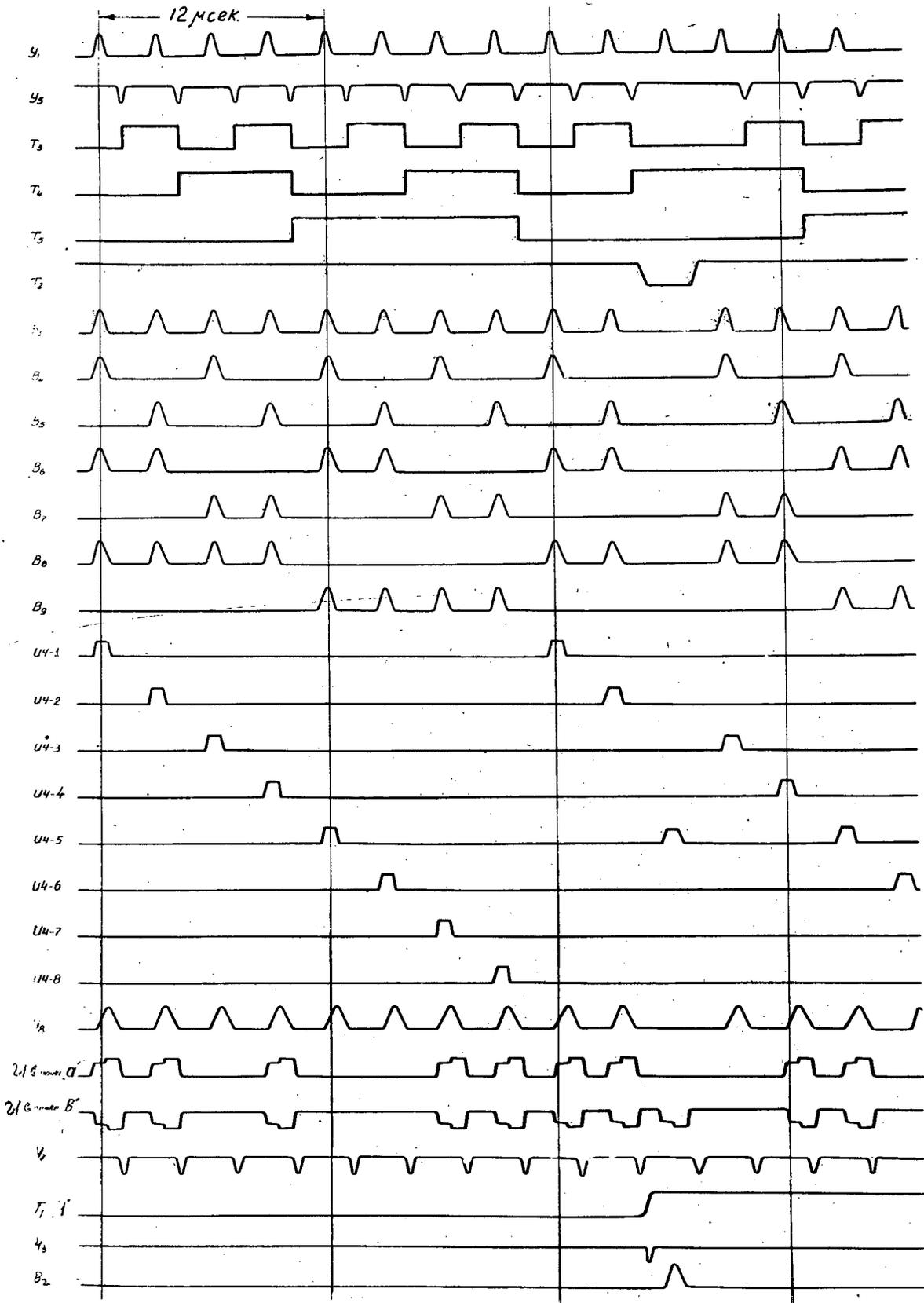


Рис. 21. Временная диаграмма работы схемы рис.20

на входе усилителя  $У_9$  появляется отрицательный импульс, а с выхода  $У_9$  на вход вентиля  $В_{16}$  поступает положительный импульс. С выхода вентиля  $В_{16}$  на шину первого разряда подается отрицательный импульс регенерации.

Для получения максимального быстрогодействия электромагнитные линии задержки в цепи регенерации, имевшиеся в макете № 1, были устранены, поэтому импульс на шине разряда появляется с задержкой, определяемой только временем срабатывания блоков  $У_9$  и  $В_{16}$  и равной приблизительно 0,2 мксек. Как упоминалось ранее, импульс регенерации должен оканчиваться после импульса ИЧ.

После окончания регенерации числа "0" счетчик  $T_3 - T_5$ , получив импульс от  $У_5$ , переходит в положение "001" и регенерация первого числа, второго числа и т.д. происходит таким же образом.

**О п е р а ц и я з а п и с и .** При записи адрес числа набирается с помощью переключателей  $П_1 - П_3$ , а код числа с помощью переключателей  $П_5 - П_9$ . Предположим, что нам нужно записать число 01110 в адрес 111. Для этого переключатели  $П_1, П_2, П_3, П_6, П_7, П_8$  ставятся в левое, а переключатели  $П_5, П_9$  - в правое положение. Тогда при переводе переключателя  $П_4$  в правое положение усилитель  $У_3$  выдает отрицательный импульс и переводит триггеры  $T_6 - T_8$  и  $T_9 - T_{13}$  в положение "111" и "01110" соответственно. Триггер  $T_2$  переходит в положение "0" и выключает счетчик  $T_3 - T_5$ . На входы вентилях  $В_{10} - В_{15}$  и вентилях  $В_{26} - В_{27}$  от вентиля  $В_2$  поступает положительный импульс и вентили  $В_{11}, В_{13}, В_{15}, В_{26}$  срабатывают. Дешифратор выдает импульс на вход вентиля  $В_{35}$  и импульс ИЧ на шины числа и открывает все диодные вентили этого числа. Вентили  $В_{37}$  и  $В_{45}$  выдают отрицательные импульсы, записывая "0" в первом и пятом разрядах, а вентили  $В_{38}, В_{40}, В_{42}$  - положительные, стирая нули, если они были ранее за-

писаны в этих разрядах числа "111" или подтверждающие единицы, если они были записаны. Регенерация при этом прекращается, от усилителя  $U_2$  на вход вентилей  $V_{16}, V_{18}, V_{20}, V_{22}$  и  $V_{24}$  по шине "0" импульсы не подаются (триггер  $T_2$  находится в положении "0").

По окончании записи триггер  $T_2$  импульсом, проходящим по цепи  $B_2, L_3, U_4$ , ставится в положение "0" и регенерация продолжается с того места, на котором она прервалась.

**О п е р а ц и я с ч и т ы в а н и я .** При осуществлении операции считывания регистр числа работает точно так же, как при записи, но триггер  $T_{14}$ , находясь в положении "1", возбуждает вентиль  $V_{27}$  и выключает вентиль  $V_{26}$ . Поэтому по шине "А" импульс не подается и вентили  $V_{36}-V_{45}$  не возбуждаются, но по шине "В" выдается импульс, подготавливающий вентили  $V_{17}, V_{19}, V_{21}, V_{23}, V_{25}$ . При осуществлении внеочередной регенерации числа, адрес которого определяется положением триггеров  $T_6 - T_8$  регистра адреса, вентили регенерации  $V_{16}, V_{18}, V_{20}, V_{22}, V_{25}$  через вентили считывания  $V_{17}, V_{19}, V_{21}, V_{23}, V_{25}$  передают код числа на регистр числа  $T_9 - T_{13}$ . В случае, если происходит считывание числа 01110, импульсы передаются только вентилями  $V_{19}, V_{21}, V_{23}$  второго, третьего и четвертого разрядов.

**П о д б о р д и о д о в в я ч е й к и .** Ячейки макета №2 были собраны из диодов типа ДПЦ-8. Перед сборкой ячеек прямое и обратное сопротивление диодов замерялись на омметре. Диоды, имеющие обратное сопротивление меньше 400 ком или нестабильные прямые, или обратные сопротивления, общим количеством около 30%, были отбракованы. В табл. 2 приведены сводные данные прямых и обратных сопротивлений этих диодов, измеренные по способу вольтметра и амперметра, после того как диоды были впаяны в ячейки.

Т а б л и ц а 2

Параметры диодов ячеек, использованные в макете №2

	Диод Д <sub>1</sub>		Диод Д <sub>2</sub>		$\frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1}$	$\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2}$
	$r_1, \text{ом}$	$R_1, \text{мом}$	$r_2, \text{ом}$	$R_2, \text{мом}$		
Максимальное значение	110	4,0	111	6,0	+ 0,4	+ 0,46
Минимальное значение	33	0,71	35	0,55	- 0,4	- 0,48

Результаты испытаний. Макет был испытан на полную емкость в 40 ячеек. Проверялись устойчивость хранения и записи при различных частотах генератора Г. Наивысшая частота, при которой работали все ячейки, достигала 330 кГц, причем нижний предел для 70% ячеек составлял 8 кГц.

Максимальная емкость ЗУ, которую можно получить при этих условиях (без запасов на влияние температуры, колебание питающих напряжений и т.д.), равна 330 чисел. В реальных условиях ЗУ сможет работать при емкости в 50 ÷ 100 чисел.

На рис.22 изображены осциллограммы импульсов в различных частях схемы рис. 20.

Макет устойчиво работал в указанном диапазоне частот при поочередных изменениях всех питающих напряжений на ± 10%. При больших отклонениях питающих напряжений от номинала сбои происходили из-за отказа цепей управления, в основном триггеров.

Была также испытана одна ячейка с индированными германиевыми диодами, обладающими большим обратным и малым прямым сопротивлениями (данные диодов приведены в табл.3). Эта ячейка при емкости конденса-

Т а б л и ц а 3

Параметры некоторых типов полупроводниковых диодов

Тип диода	Марка	$R_{пр}$ , ом	$R_{обр}$ , мом при 25°C	$R_{обр}/R_{пр}$	Максимальная емкость ЗУ (эксп. данные)
Германиевый	324	200	$1-2 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^3$	850
Германиевый	ДГП-8	60-100	$1-2 \cdot 10^6$	$10 \cdot 10^3$	330
Индированный	-	20	$13 \cdot 10^6$	$400 \cdot 10^3$	$24 \cdot 10^3$
Кремниевый	601С	300	$300 \cdot 10^6$	$10^6$	=
Кремниевый	IN38A	200	$1000 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$	-
Кремниевый	IN38A	25	$1000 \cdot 10^6$	$40 \cdot 10^6$	-
Кремниевый	IN300A	30	$15 \cdot 10^9$	$500 \cdot 10^6$	-

тора 2000 пф работала в диапазоне частот генератора Г 250 иц - 300 киц, а при емкости конденсатора 9000 пф в диапазоне 100 иц - 300 киц. В последнем случае максимально возможная емкость равна  $24 \cdot 10^3$  чисел.

Очевидно, что даже при большом запасе надежности можно создать на таких диодах ЗУ емкостью в несколько тысяч чисел.

#### 8. ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ В ЗУ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТРИОДОВ

ЗУ на конденсаторах и полупроводниковых диодах можно условно разделить на две части: а) устройство управления и б) собственно запоминающее устройство (часть ЗУ, показанная на рис. 5).

Устройство управления собирается из обычных триггеров и вентилях, которые могут быть выполнены на полупроводниковых триодах. В собственно запоминающем устройстве при процессах регенерации, записи и считывания должна быть предусмотрена возможность послылки импульсов числа

и импульсов разряда. Мощность импульсов числа в ЗУ, хранящем сорока-разрядные числа, составляет  $1\div 3$  вт в пике импульса, средняя мощность

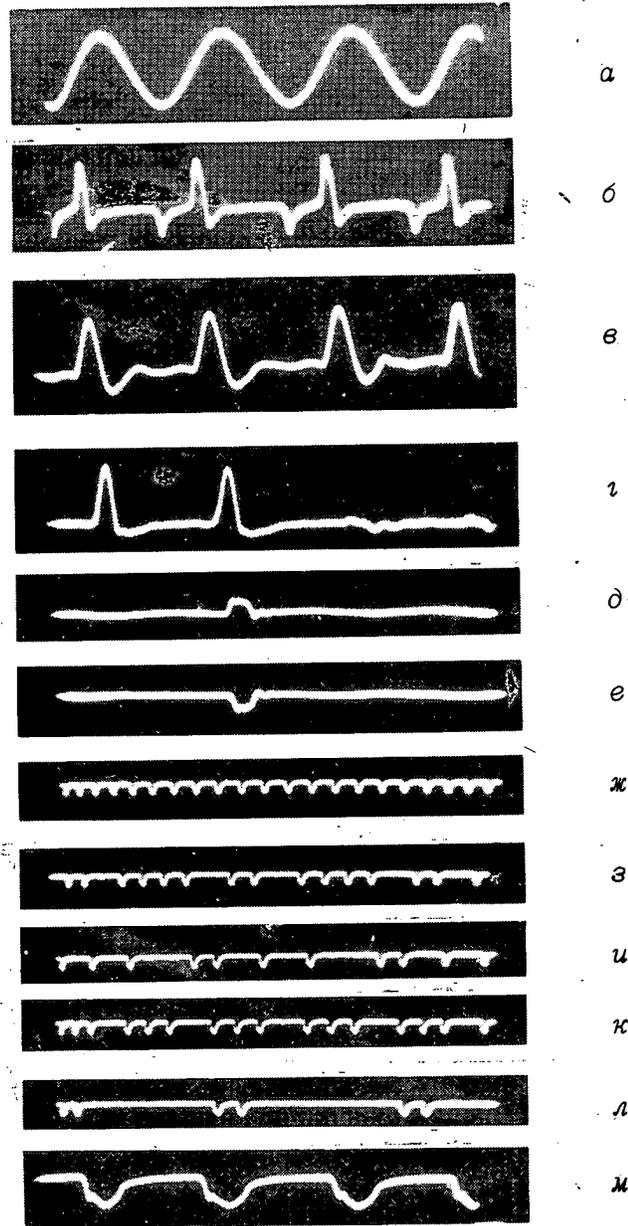


Рис. 22. Осциллограммы импульсов напряжения в различных точках схемы рис. 20 (частота 320 кГц).  
 а - выход генератора Г; б - выход формирователя Ф;  
 в - выход У<sub>1</sub>; г - вход дешифратора; д - +ИЧ;  
 е - -ИЧ; ж - шина 1-го разряда; з, и, к, л - шины 2-, 3-, 4- и 5-го разрядов; м - шина 1-го разряда при другой скорости развертки

импульсов на шине разряда - 50 мвт (по данным испытаний макетов № 1 и № 2).

Для экспериментальной проверки возможности применения полупроводниковых триодов в ЗУ был изготовлен макет ЗУ емкостью в одну ячейку, схема которого приведена на рис. 23. Блок регенерации в этой схеме собран на четырех полупроводниковых триодах типа П6Г. Триод  $T_1$  работает в режиме эмиттерного повторителя и служит для согласования сопротивлений. Триод  $T_2$  работает в схеме с заземленным эмиттером и усиливает сигнал до уровня, необходимого для нормальной работы вентиля совпадения на диодах  $D_3 - D_4$ . Предоконечный каскад на  $T_3$  возбуждает эмиттерный повторитель на триоде  $T_4$ . Главные импульсы подаются в блок регене-

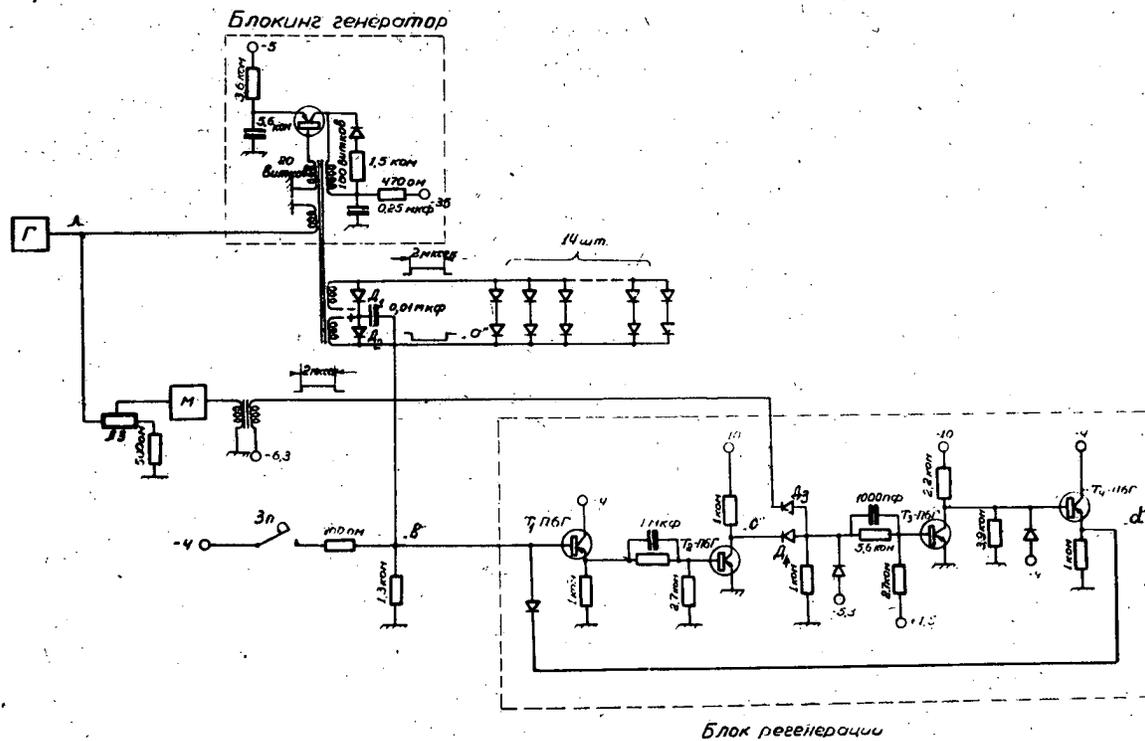


Рис. 23

рации с формирователя М, возбуждаемого генератором Г. Импульсы, открывающие диодные вентили  $D_1$  и  $D_2$ , вырабатываются блокинг-генератором на триоде П6Г, запуск которого производится от генератора Г. Запись производится подачей потенциала -4 в на шину разряда с помощью ключа "Зп".

Присоединенные к шинам числа 14 пар диодов имитируют нагрузку шин числа, создаваемую ячейками 14 разрядов.

Описанный макет устойчиво работал в диапазоне частот  $300 \text{ и} \div 300 \text{ киц}$ ; в качестве диодов  $D_1$  и  $D_2$  были использованы диоды ДГЦ-8; емкость конденсатора ячейки составляла  $0,01 \text{ мкф}$ . Диапазон частот от  $300 \text{ иц}$  до  $300 \text{ киц}$  соответствует максимальной емкости ЗУ 1000 чисел.

Реально такая схема с учетом запаса на уход параметров схемы, нестабильность напряжений и т.д. при использовании диодов типа ДГЦ-8 сможет, вероятно, обеспечить емкость порядка  $100 \div 200$  чисел.

На рис. 24 приведены осциллограммы импульсов в различных частях схемы.

При испытании схема оказалась не критичной к замене триодов  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_4$  и несколько критичной к замене триода  $T_3$ . Лучше работают триоды, имеющие большое  $\alpha$  и малый нулевой ток  $I_{к0}$ . Следует отметить, что в испытанной схеме применены исключительно гальванические связи. Возможно, что введение трансформаторных междускадных связей позволит повысить надежность работы, хотя и вызовет снижение верхнего предела скорости работы.

Испытание этого макета показало возможность замены большинства ламп полупроводниковыми триодами. В цепях, выдающих импульсы числа, заменять лампы имеющимися в настоящее время в наличии высокочастотными полупроводниковыми триодами нецелесообразно, так как для того, чтобы нагрузка этих триодов не превышала допустимой, потребуется параллельная работа нескольких триодов. Пиковое значение тока коллектора триода блокинг-генератора доходило до  $40 \text{ ма}$  при нагрузке, эквивалентной 15 ячейкам (при большей нагрузке схема работала неустойчиво). При введении диодно-трансформаторной дешифраторной матрицы и увеличении числа

разрядов до 40 следует ожидать повышения мощности импульсов в 5-10 раз, что потребует параллельной работы большого количества триодов и будет явно невыгодно.

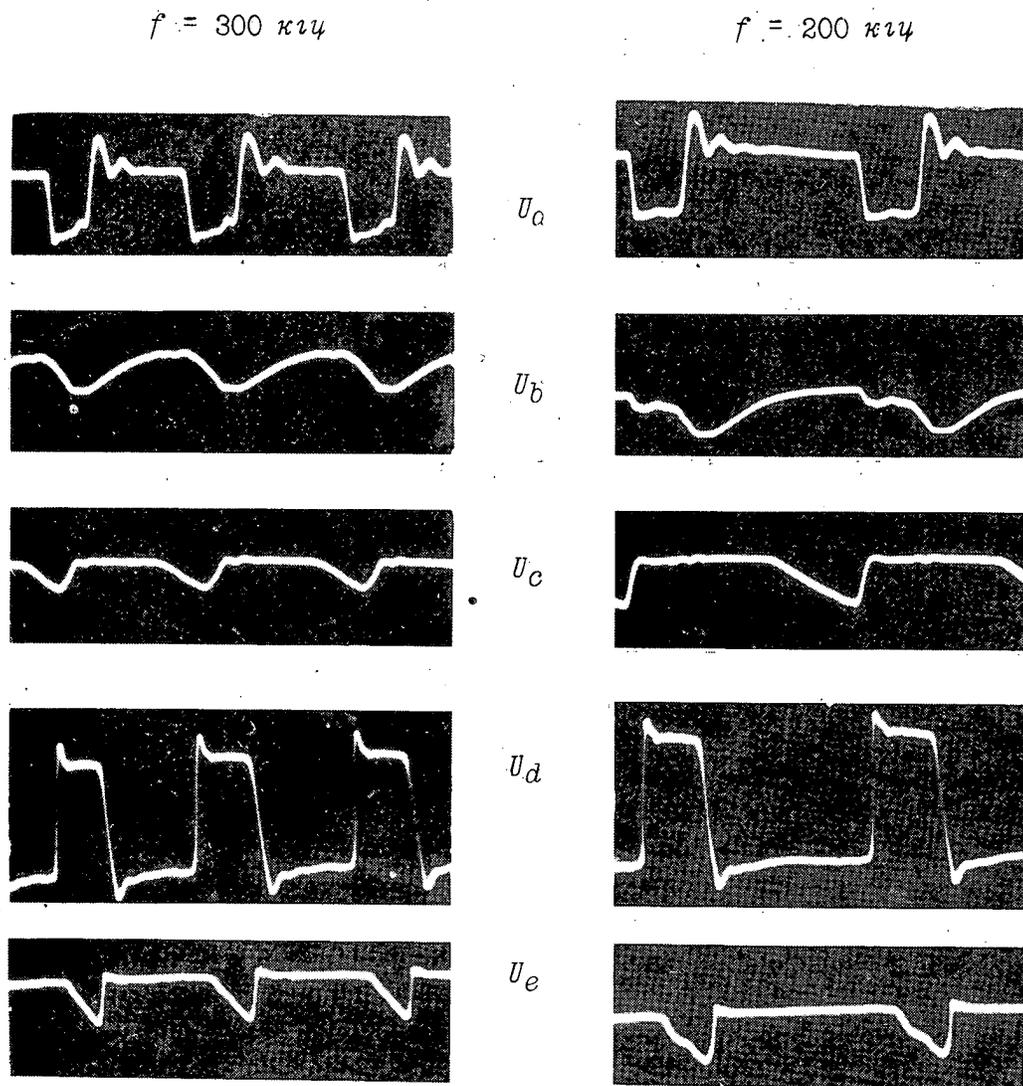


Рис. 24

### 9. ВОЗМОЖНОСТЬ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПОВЫШЕНИЯ ЕМКОСТИ ЗУ

Как было показано в разделе 2, основным параметром, определяющим максимальную емкость ЗУ, является отношение обратного сопротивления диодов ячеек к прямому ( $R_{обр}/R_{пр}$ ).

В табл.3 приведены данные германиевых диодов, использованных в вышеописанных макетах, и для сравнения данные некоторых германиевых и кремниевых диодов, обладающих высоким отношением  $R_{обр}/R_{пр}$ . Как видно из табл.3, кремниевые диоды обладают намного большей величиной отношения  $R_{обр}/R_{пр}$ , чем германиевые.

Следует отметить, что все приведенные в этом отчете расчеты были сделаны в предположении, что обратное сопротивление диодов подчиняется закону Ома, т.е. что обратный ток диода пропорционален приложенному к диоду напряжению. Вольтамперные характеристики кремниевых диодов в области обратных токов при определенной технологии изготовления имеют значительную область насыщения, т.е. в широком диапазоне напряжений, иногда до сотен вольт, обратный ток диода не зависит от приложенного к диоду напряжения. Это означает, что если два диода, обладающие равными токами насыщения, будут включены в схему ячейки ЗУ, токи в этих диодах будут равными, независимо от знака и величины заряда конденсатора. Условие же равенства токов, протекающих через диоды ячейки, означает, что ток разряда конденсатора равен нулю, а время разряда - бесконечности. Таким образом, можно сделать вывод, что применение некоторых типов кремниевых диодов даст возможность получить ЗУ емкостью в несколько десятков тысяч чисел.

#### 10. УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ КОДА ИЗ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ФОРМЫ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНУЮ И НАОБОРОТ С ПОМОЩЬЮ ЗАПОМИНАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ДИОДАХ И КОНДЕНСАТОРАХ

Как было указано в разделе 8, код в ячейках ЗУ на диодах и конденсаторах в течение некоторого времени ( $>1$  мсек) может храниться без регенерации. Хранение кода в некоторых узлах электронных счетных машин яв-

ляется очень непродолжительным. Применение схемы ЗУ на диодах и конденсаторах в этих случаях может явиться весьма целесообразным.

На рис. 25 приведена схема регистра для преобразования кода шестнад-

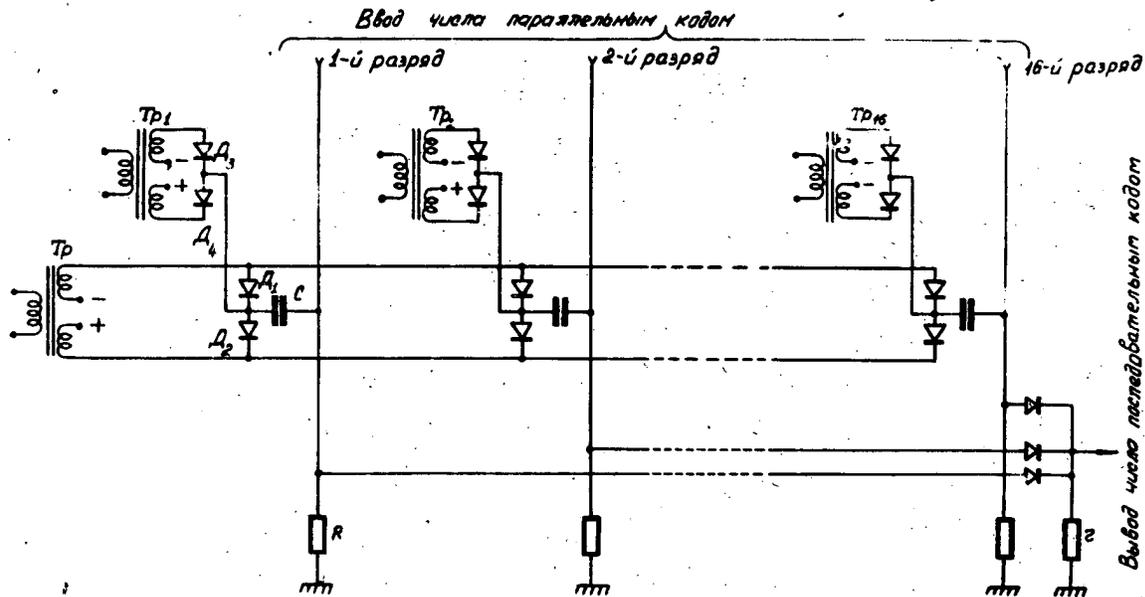


Рис. 25

цатиразрядного числа из параллельной формы в последовательную, которая является одним из возможных вариантов применения ЗУ на диодах и конденсаторах. Схема эта работает следующим образом. Каждая ячейка регистра состоит из четырех диодов  $D_1, D_2, D_3, D_4$ , образующих схему двух симметричных диодных вентилях, конденсатора  $C$  и сопротивления  $R$ . В нерабочем состоянии диоды  $D_1, D_2, D_3, D_4$  заперты. В момент поступления числа на регистр на трансформатор  $Tr$  подается импульс, переводящий диоды  $D_1, D_2$  всех разрядов в проводящее состояние, и код числа записывается в виде зарядов конденсаторов  $C$ . Диоды  $D_3, D_4$  всех разрядов остаются в этот момент в непроводящем состоянии. Затем, через некоторый промежуток времени, который в зависимости от заданных условий может регулироваться в диапазоне от нуля до нескольких десятков микросекунд, на трансформато-

ры  $T_{p1}$   $T_{p2}$ ... $T_{p16}$  подаются последовательно импульсы, открывающие по очереди вентили  $D_3, D_4$  всех шестнадцати разрядов. Это вызывает появление тока разряда конденсаторов  $C$ . Импульсы напряжения, возникающие на

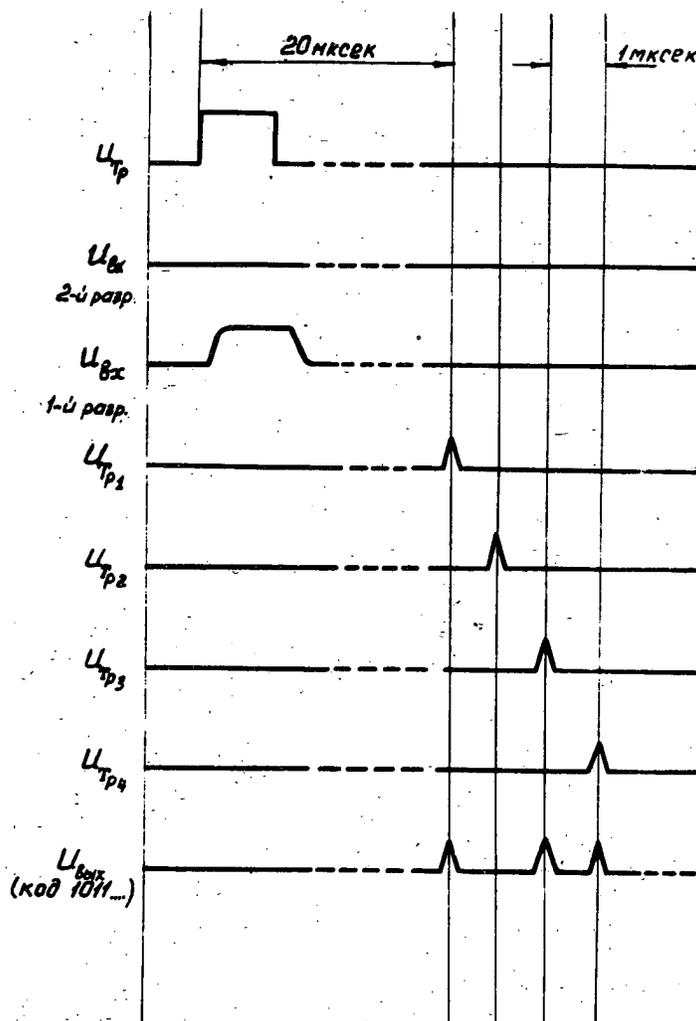


Рис. 26

сопротивлениях  $R$  вследствие протекания через них тока разряда, суммируются на сопротивлении  $r$ , образуя последовательный код числа. На рис. 26 изображена временная диаграмма работы этой схемы.

Описанная выше схема преобразования параллельного кода в последовательный может найти применение во многих малых специализированных машинах, так как при конструировании подобных машин, как правило,

предусматривается блок центрального управления (ЦУ), вырабатывающий систему сдвинутых во времени тактовых импульсов, необходимых для работы трансформаторов  $T_{p1}$  -  $T_{p16}$  (для открывания симметричного диодного вентиля  $D_3$  -  $D_4$  необходим импульс мощностью  $\approx 0,1$  вт). Макет этого преобразователя хорошо работал при частоте следования импульсов  $10^6$  имп/сек, которая была установлена техническими условиями проекта при амплитуде выходных импульсов  $> 1$  в. Следует отметить, что вентили в

этой схеме работают в очень легких условиях - каждый из вентилях срабатывает только один раз за весь цикл преобразования. По-видимому, без особого труда возможно добиться того, что преобразователь сможет работать при частоте следования импульсов  $4 \div 5 \cdot 10^6$  имп/сек.

С очень незначительными переделками схему этого преобразователя можно использовать и для обратного преобразования последовательного кода в параллельный.

#### ВЫВОДЫ

1. Запоминающее устройство на конденсаторах и полупроводниковых диодах может быть сконструировано емкостью в несколько тысяч чисел при использовании специальных диодов.

2. Скорость работы такого ЗУ вполне может конкурировать со скоростью работы других типов быстродействующих ЗУ параллельного типа (ЗУ на электростатических трубках и ЗУ на ферритовых сердечниках).

3. Такое ЗУ обладает большой механической прочностью и вибростойкостью, а также высоким уровнем сигнала, что наряду с чрезвычайной простотой схемы и эксплуатации делает его весьма удобным для применения в специальных машинах.

4. Малая мощность, требуемая для заряда и разряда конденсаторов ячеек, дает возможность замены во многих цепях ЗУ электронных ламп полупроводниковыми триодами.

5. Недостатком ЗУ является необходимость использования большого количества диодов (два диода на одну ячейку) и необходимость регенерации.

6. Если ЗУ предназначено для кратковременного хранения кодов, его можно построить по очень простой схеме, не требующей регенерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Holt A.W., Diode capacitor memory for computers, Radio and Telev. News, 1954, v.51, N<sup>o</sup>2, p.20,32-33.
2. A diode - capacitor memory, Technical News Bulletin of National Bureau of Standards (USA) , 1953, v.37, N<sup>o</sup>11, p.171.
3. Bell Labs develops silicon junction diode, Tele-Tech, 1953, v.12, N<sup>o</sup>9, p.11.
4. Bonded silicon diodes, Proc. IRE, 1956, v.44, N<sup>o</sup>2, p. 25A.
5. New high voltage silicon junction diodes, Proc. IRE, 1955, v.43, N<sup>o</sup>3, p. 137A.
6. Raytheon bonded silicon diodes, Tele-Tech, 1955, v.14, N<sup>o</sup>8, p.5.
7. Military silicon rectifiers, Proc. IRE, 1956, v.44, N<sup>o</sup>3, p.30A-31A.
8. Firle T.E., Mc.Mahon M.E., Roach J.F., Recovery time measurements on point-contact germanium diodes, Trans.IRE, 1954, IV, ED-1, N<sup>o</sup>2, p. 27-33.
9. Prince M.B., High-frequency silicon-aluminium alloy junction diodes, Trans. IRE, 1955, v. ED-2, N<sup>o</sup>4, p.8-13.

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1. Принцип действия ЗУ на диодах и конденсаторах . . . . .	3
2. Процессы регенерации, записи и считывания в ЗУ большой емкости . . . . .	6
3. Требования, предъявляемые к диодам ячеек ЗУ . . . . .	7
4. Устройство управления ЗУ . . . . .	8
5. Верхний предел скорости работы ЗУ . . . . .	10
6. Сравнение способов однополярной и двуполярной записи . . . . .	12
7. Результаты эксперимента. . . . .	20
8. Возможность применения в ЗУ полупроводниковых триодов . . . . .	32
9. Возможность дальнейшего повышения емкости ЗУ . . . . .	36
10. Устройство для преобразования кода из параллельной формы в последовательную и наоборот с помощью запоминающего устройства на диодах и конденсаторах . . . . .	37
Выводы . . . . .	40